



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

MIKKO KASARI

**TUOTANTOLAITOKSEN LAVAUSJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMI-
NEN**

Diplomityö

Tarkastaja: professori Matti Vilkkö
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone- ja materiaalitekniikan tiedekuntaneuvoston kokouksessa
4. toukokuuta 2011

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

KASARI, MIKKO: Tuotantolaitoksen lavausjärjestelmän kehittäminen

Diplomityö 77 sivua, 6 liitesivua

Elokuu 2011

Pääaine: Prosessiautomaatio

Tarkastaja: professori Matti Vilkkö

Avainsanat: simulointi, lavausjärjestelmä, teollisuusrobotti, mallinnus

Elintarviketeollisuuden kova kilpailutilanne ja tuotantovolyymien kasvu on pakottanut elintarvikealan yritykset kehittämään teollisia prosesseja kohti kustannustehokkaampia ratkaisuja. Tässä diplomityössä tarkastellaan mahdollisuuksia kehittää HK Ruokatalon Vantaan tehtaan nykyistä robottilavausjärjestelmää etsimällä kehitysratkaisuja kapasiteetin nostamiseksi. Lavausjärjestelmä on tärkeässä roolissa elintarviketehtaan tuotantoketjussa. Järjestelmä valmistelee siihen tulevat tuotelaatikat lähettämöä varten, josta ne voidaan edelleen toimittaa asiakkaalle. Kasvattamalla nykyisen lavauksen kapasiteettia yritys pystyy tehostamaan ja kasvattamaan tuotantoaan.

Tässä työssä on mallinnettu ja simuloitu kehitysehdotuksia HK Ruokatalon Vantaan tehtaan nykyiseen lavausjärjestelmään käyttäen hyväksi AutoMod-simulointiohjelmistoa. Tarkoituksena oli kartoittaa nykyisen järjestelmän toimintaa ja tutkia työn aikana mallinnettuja kehitysehdotuksia ajamalla simulointiajoja ja analysoimalla tuloksia. Ensimmäisenä kehitysehdotuksena simulointimalliin lisättiin kuusi laatikon pinontalaitetta ja tutkittiin kapasiteetin kehittymistä. Toisena kehitysehdotuksena lisättiin kolmas robotti ja edelleen tutkittiin lisäyksen vaikutuksia kapasiteettiin.

AutoMod oli sopiva työkalu lavausjärjestelmän mallinnukseen ja simulointiin. Simulointitulosten perusteella pystyttiin perustelemaan, että pinontalaitteiden lisääminen on kannattava investointi nykyisen järjestelmän kapasiteetin turvaamiseksi. Tulokset osoittivat myös, että tämän kehitystoimenpiteen lisäämisen jälkeen pullonkaulaksi asetui järjestelmän siirtovaunut ja vanteutuskone.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Program in Automation Technology

KASARI, MIKKO: Development of production plant palletising system

Master of Science Thesis, 77 pages, 6 Appendix pages

August 2011

Major: Process automation

Examiner: Professor Matti Vilkkö

Keywords: simulation, palletising system, industrial robot, modelling

The hard competition and growth of production in food industry have forced the production plants to improve their industrial processes to be more cost effective. In this thesis, the possibilities of development of robot palletising system in HK Ruokatalo Oy production plant in Vantaa are explored by searching solutions to improve the capacity of the system. The role of the palletising system is vital in a production chain. The system prepares product boxes for the dispatch department, where they can be delivered to customers. By developing the capacity of the palletising system the company can optimize and increase their production.

In this thesis, the development work of the palletising system has been done by using the AutoMod simulation software. This software offers tools for the modelling and simulation. The first step was to model the functionality of the current palletising system. After that the development solutions, which were third robot and six additional production line stacker machines, were included to the model and they were simulated and analysed.

AutoMod was suitable tool for the palletising system modelling and simulation. According to the simulation results stacker machines is profitable investment. This investment should secure the capacity of current system. Results also show that after adding this development solution the next bottlenecks will be transfer cars and strapping machine.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty HK Ruokatalo Oy:ssä 1.1.2011 – 5.6.2011 välisenä aikana yhteistyössä Fimatic Oy:n kanssa. Työ on tehty Tampereen teknillisen yliopiston systeemitekniikan laitokselle. Työn tarkastajana on toiminut professori Matti Vilkkö, jota kiitän tähän työhön kohdistuneista arvokkaista ehdotuksista ja ohjeista. HK Ruokatalon puolesta ohjaajana on toiminut DI Juha Takamaa, jota haluan kiittää mielenkiintoisesta aiheesta ja työn ohjauksesta.

Olen saanut korvaamatonta apua työn suorittamiseksi seuraavilta henkilöiltä, joita haluan kiittää henkilökohtaisesti: Lasse Merilä, HK Ruokatalo Oy; Mikko Uusitalo, HK Ruokatalo Oy; Juha Särelä, Fimatic Oy; Satu Haapalainen, Fimatic Oy, Arto Tuominen, Simular Oy. Lisäksi haluan vielä kiittää koko HK Ruokatalon henkilökuntaa.

Erityisen tärkeää työn suorittamisen kannalta on ollut se, että perheeni on tukenut minua läpi tämän koko prosessin. Erityisen kiitollinen olen Emmille, joka jaksoi kannustaa minua tekemään työtäni, vaikka tie tuntui välillä olevan hyvinkin raskas.

Tampereella 5.6.2011

Mikko Kasari

SISÄLLYS

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Johdanto | 1 |
| 1.1. | Työn aihepiiri ja tausta | 1 |
| 1.2. | Työn tavoitteet ja rajaukset | 2 |
| 1.3. | Työn rakenne | 3 |
| 2. | Robotit | 5 |
| 2.1. | Lavausjärjestelmän asettamat vaatimukset lavausrobotille | 5 |
| 2.2. | Robottityypit | 6 |
| 2.3. | Robottien ohjausjärjestelmät | 10 |
| 2.4. | Ohjelmointi | 12 |
| 2.5. | Robotin tarttumat | 16 |
| 2.6. | Elintarviketeollisuuden vaatimukset roboteille | 20 |
| 3. | Simulointi | 22 |
| 3.1. | Simulointimenetelmät | 22 |
| 3.2. | Simulointiympäristöt | 23 |
| 3.3. | Simulointiprojektin vaiheet | 23 |
| 3.4. | Simulointiohjelmistot | 29 |
| 4. | Lavausjärjestelmän kuvaus | 32 |
| 4.1. | Lavausjärjestelmän toiminta | 32 |
| 4.2. | Järjestelmän käsittely-yksiköt | 33 |
| 4.3. | Järjestelmän laitteet | 34 |
| 4.4. | Tiedonsiirto korkeavaraston ja lavausjärjestelmän välillä | 44 |
| 4.5. | Järjestelmän kapasiteetti | 45 |
| 5. | Järjestelmän mallintaminen | 46 |
| 5.1. | Mallinnuksen tavoitteet | 46 |
| 5.2. | 3D-mallin rakentaminen | 46 |
| 5.3. | Lähtötiedot | 48 |
| 5.4. | Käsittely-yksiköt ja resurssit | 50 |
| 5.5. | Mallinnettavat prosessit | 51 |
| 5.6. | Mallin verifiointi | 55 |
| 5.7. | Mallin validointi | 55 |
| 5.8. | Kolmannen robotin mallintaminen | 57 |
| 6. | Simulointiajot ja tulosten analysointi | 59 |
| 6.1. | Simulointiaineisto | 59 |
| 6.2. | Lavausjärjestelmän kapasiteetin määrittäminen | 60 |
| 6.3. | Kuuden pinontalaitteen lisääminen järjestelmään | 62 |
| 6.4. | Kolmannen robotin lisääminen järjestelmään | 63 |
| 6.5. | Kehitystoimenpiteiden yhteisvaikutus | 65 |
| 6.6. | Tulosten yhteenveto | 67 |
| 7. | Kehitystoimenpiteet | 69 |
| 7.1. | Kuuden pinontalaitteen lisääminen järjestelmään | 69 |
| 7.2. | Kolmannen robotin lisääminen järjestelmään | 69 |

| | |
|---|----|
| 7.3. Kehitystoimenpiteiden yhteisvaikutus | 70 |
| 7.4. Muut kehitystoimenpiteet | 70 |
| 8. Yhteenveto | 74 |
| Lähdeluettelo..... | 76 |
| Liite 1: Lavaamon kapasiteetin mittausta | 78 |
| Liite 2: Simulointimäärittely | 81 |

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

| | | |
|----------------------|---|-------------------|
| A | Imukupin ala. | [m ²] |
| F | Tarttujan tartuntavoima | [N] |
| n_3 | Muodonmuutoskerroin | [-] |
| p_0 | Ulkoilmanpaine | [Pa] |
| p_k | Työpaine | [Pa] |
| S | Varmuuskerroin | [-] |
| z | Tarttujan imukuppien lukumäärä | [-] |
| η | Hyötysuhde | [-] |
| 2D/3D | Kaksi- tai kolmiulotteinen. Engl. Dimension. | |
| ABB | Teollisuuskonserni. Engl. Asea Brown Boweri. | |
| Akkumulointi | Tietynlaista varastointia tarkoittava termi. Esimerkiksi akkumuloiva eli varastoiva kuljetin. | |
| AutoCAD [®] | Yleiskäyttöinen tietokoneavusteisen suunnittelun ohjelmisto. | |
| AutoMod [®] | Työssä käytettävä simulointiohjelmisto. | |
| Avidemux | Avoimen lähdekoodiin perustuva videonkäsittelyohjelma. | |
| CAD | Tietokoneavusteinen suunnittelu. Engl. Computer Aided Design. | |
| DWG | Binäärinen kuvan tallennusmuoto. Engl. Drawing. | |
| Firebird | Avoimen lähdekoodin relaatiotietokantajärjestelmä. | |
| HTML | Avoimesti standardoitu kuvauskieli hyperlinkkejä sisältävän tekstin kuvaamiseen. Engl. Hypertext Markup Language. | |
| Igrip | Robotin simulointi- ja etäohjelmointiohjelma. Engl. Interactive Graphics Interface Program. | |
| Lavaamo | Tässä työssä tutkittava lavausjärjestelmä. | |
| Livasto | Lihan vastaanotto. | |
| Layout | Tietokoneavusteisella suunnitteluohjelmistolla toteutettu pohjapiirustus. | |
| OFFLINE | Robotin etäohjelmointitapa. | |
| PC | Tietokone. Engl. Personal Computer. | |
| QUEST [®] | Simulointiohjelmisto. Engl. QUEuing Simulation Event Tool. | |
| SAP ERP | Toiminnanohjausjärjestelmä. Engl. Enterprise Resource Planning (ERP). | |
| SCARA | Selective Compliance Assembly Robot Arm. | |
| SCL | QUEST [®] :n ohjelmointikieli. Engl. Simulation Control Language. | |

1. JOHDANTO

1.1. Työn aihepiiri ja tausta

Korkea automaatioaste kilpailevassa elintarviketeollisuudessa on nykypäivänä elinehto. Jotta elintarviketehtas pystyy toimimaan ja saavuttamaan kilpailuetua toisiin elintarviketehdastajiin, täytyy tehtaan teollisia prosesseja kehittää jatkuvasti. Tämä tarkoittaa sitä, että monet helpot ja raskaat työt pyritään toteuttamaan robotteja hyväksikäyttäen. Pelkästään uusien toimintojen automatisointi ja robotisointi eivät riitä, vaan täytyy kehittää myös nykyisiä jo automatisoituja toimintoja.

Tässä työssä tarkastellaan HK Ruokatalon Vantaan tehtaan ensimmäisen kerroksen lavausjärjestelmää, jonka tehtävänä on lavata eri pakkauslinjoilta tulevat laatikkomateriaalivirrat ja lähettää lavatut laatikkolavat lähettämöön. Lavausjärjestelmä koostuu monista eri toiminnosta, jotka on pyritty automatisoimaan. Lavaamo on keskeisessä roolissa elintarviketehtaan tuotantoketjussa, ja sen häiriötön, stabiili ja nopea toiminta on välttämätöntä. Elintarvikkeiden kireät päiväysrakenteet vaativat, että tuotteet läpäisevät lavausjärjestelmän nopeasti.

Lavausjärjestelmä sijoittuu tuotantoketjun loppupäähän. Lavausjärjestelmää kuormittaa yhdeksän makkaran pakkauslinjaa, viisi nakin pakkauslinjaa, kaksi jauhelihan pakkauslinjaa ja kaksi hampurilaisen pakkauslinjaa. Näiden lisäksi järjestelmässä on korjausasema valmisruokalavojen syöttöä varten. Ennen pakkaamista makkara- ja nakkimassa valmistetaan livastossa (lihan vastaanotto) ja ruiskutetaan ruiskutusosastolla. Jauhelihamassa sen sijaan annostellaan suoraan linjastolle ja ohjataan rasiaan ennen pakkaamista. Hampurilaisten pihvit valmistetaan valmisruokaosastolla ja hampurilaisten kokoaminen tehdään roboteilla. Lähettämöön menevät lavat ajetaan korkeavarastoon, josta ne viedään lavanpurkajalle tai suoraan rekkaan asiakastoimitusta varten. Lavanpurkajalta puretut laatikot kuljetetaan puskurivarastoon, josta ne tilataan keräilysooliin. Laatikoista keräillään asiakkaan tilauksia vastaavia toimituksia. Lähettämö on täysin automaattinen kokonaisuus pois lukien tuotekeräily. Tuotekeräilyn suorittaa henkilökunta keräilysolien välissä.

Elintarviketehtaan tuotantokilot vaihtelevat suuresti pitkin vuotta. Etenkin sesonkiaikoina tuotanto-osastojen valmistuskilot nousevat. Kesällä makkaratuotanto kasvaa maksimiinsa ja etenkin ennen juhannusta makkaroiden menekki on valtava. Vappu ja uusivuosi sen sijaan kasvattavat nakkien valmistusta. Jauhelihan ja hampurilaisen menekki on melko tasaista, mutta erilaiset kampanjat aiheuttavat menekkiipikkejä. Tämän

takia on tärkeää, että näiden menekkihiikkien aikana lavausjärjestelmä pystyy käsittelemään kaikki siihen saapuvat laatikot.

Jotta elintarviketehtas pystyisi vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin, täytyy nykyisen lavausjärjestelmän kapasiteettia kehittää. Säilyttääkseen kilpailukykynsä on kehittyvän elintarviketehtaan pyrittävä kasvattamaan tuotannon määrää, markkinaosuutta sekä laajentamaan markkina-aluetta. Yleisesti voidaan ajatella, että tuotannon määrän lisäys kasvattaa myös tuotevalikoimaa. Tämä asettaa haasteita koko tehtaalte, ja sitä kautta myös lavausjärjestelmälle. Tuotannon täytyy mukautua asiakkaan asettamiin vaatimuksiin. Tämä johtaa siihen, että yrityksen pitää hankkia erilaisia tuotantolinjoja eri tuotteiden valmistukseen tai hankkia linjoja, jotka soveltuvat monille tuotteille ja joissa tuotevaihtojen tekeminen on nopeaa. Joka tapauksessa tuotannon täytyy olla mahdollisimman tehokasta ja syntyvien tuotteiden mahdollisimman laadukkaita.

Useat eri tuotantolinjastot aiheuttavat suuren kuorman lavausjärjestelmälle, koska materiaalivirtoja tulee useasta eri lähteestä lavaustoiminnolle. Tässä työssä pyritäänkin etsimään vaihtoehtoja lavausjärjestelmän kehittämiseksi, jotta se pystyy suoriutumaan tehokkaasti sekä tämänhetkisestä laatikkokuormasta että tulevaisuuden asettamista haasteista. Tulevaisuudessa laatikkokuorma tulee kasvamaan ja jo tällä hetkellä on suunnitella liittämään uusia tuotantolinjoja lavausjärjestelmään.

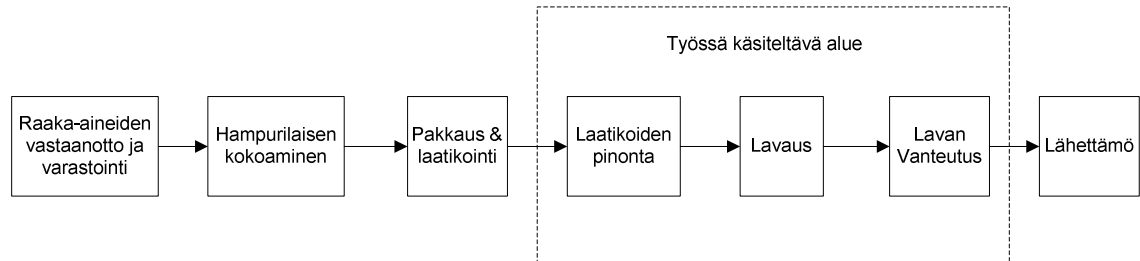
1.2. Työn tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on kartoittaa HK Ruokatalon Vantaan tehtaan ensimmäisen kerroksen lavausjärjestelmän tämänhetkinen tilanne, kapasiteetti, todentaa nykyiset pullonkaulat ja pyrkiä etsimään ratkaisuja lavausjärjestelmän kapasiteetin nostoa varten. Tuloksena syntyy ratkaisuvaihtoehtoja kapasiteetin kehittämiseksi. Ratkaisuvaihtoehdot pyritään löytämään siten, että ne voidaan liittää yrityksen investointisuunnitelmiin ja toteuttaa portaittain pitkällä tähtäimellä. Ratkaisuehdotuksissa pyritään myös kertomaan, kuinka paljon kapasiteetti nousee, mikäli kyseinen ratkaisuehdotus toteutetaan järjestelmään.

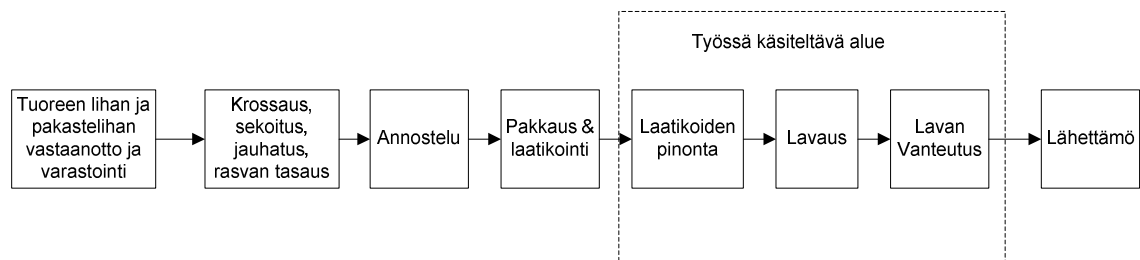
Usein uusi investointi saatetaan tehdä ilman sen kummempia suunnitelmia. Ostetaan uusi laitteisto ja toivotaan sen toimivan halutulla tavalla ilman, että on tehty kunnollisia taustaselvittelyitä tai määrittelyitä. Tällöin on riski, että lopputulos ei olekaan sitä, mitä asiakas on toivonut. Tässä työssä pyritään rakentamaan simulaattori, joka on pohjana päätöksenteolle, kun mietitään kehittämistoimenpiteitä järjestelmälle. Tällä tavoin pyritään vähentämään riskejä uusien investointien hankinnassa, jotka koskevat nykyisen järjestelmän kapasiteetin nostoa. Simulointi suoritetaan yhteistyössä Fimatic Oy:n kanssa.

Työ rajataan pitämään sisällään ainoastaan lavausjärjestelmän kannalta oleelliset toiminnot. Työssä ei analysoida pakkauslinjoja eikä niiden perässä olevia laatikointipisteitä tai robottisoluja. Laatikointipisteiltä tai robottisoluilta tulevat laatikkovirratt kuljettamiseen sen sijaan käsitellään tässä työssä. Laatikoiden käsittely ennen lavausta kuuluu myös työn aihepiiriin. Lavauksen jälkeen tapahtuva siirtokuljetus rajataan mukaan työhön siten, että lavan vanteutus kuuluu työhön. Vanteutuksen jälkeen lavat siir-

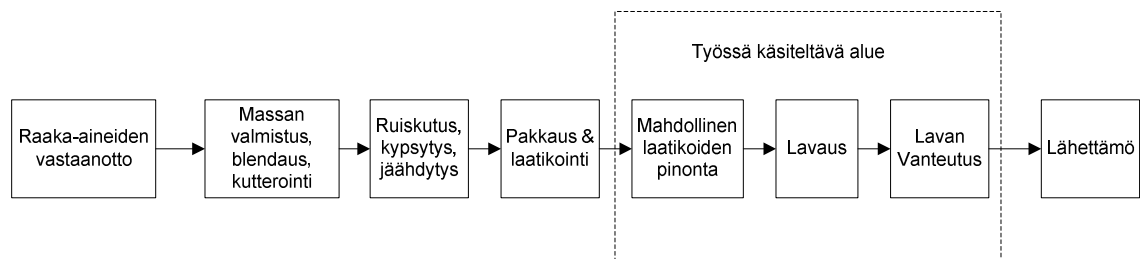
tyvät kohti lähettämöä. Lähettämöön siirtyviä lavoja ei enää käsitellä. Työn rajausta ja valmistusprosesseja on havainnollistettu kuvissa 1.1-1.3. Alla on esitetty hampurilaisen (kuva 1.1), jauhelihan (kuva 1.2) ja makkaran ja nakin (kuva 1.3) valmistuksen yksinkertaistetut lohkokaaviot.



Kuva 1.1. *Hampurilaisen valmistuksen lohkokaavio.*



Kuva 1.2. *Jauhelihan valmistuksen lohkokaavio.*



Kuva 1.3. *Makkaran ja nakin valmistuksen lohkokaavio.*

1.3. Työn rakenne

Työssä käsitellään ensiksi robotiikkaa yleisesti. Robotiikkaosuudessa käsitellään lyhyesti erilaiset robottityypit, robottien ohjausjärjestelmiä, ohjelmointia, tarttujia ja elintarviketeollisuuden asettamia vaatimuksia roboteille. Lisäksi teoriaosuudessa käsitellään simuloinnin käsitteistöä ja käydään läpi simulointiprojektin toteutusta.

Kappaleessa neljä kuvataan nykyisen lavausjärjestelmän toimintaa sekä esitellään laitteisto ja niiden tehtävät riittävällä tarkkuudella työn kannalta. Kappaleessa viisi käsitellään lavausjärjestelmän eri toimintojen mallintamista. Mallintamisesta ei esitetä ohjelmakoodia, koska sitä kertyi niin suuri määrä. Kuitenkin perusperiaatteet käydään läpi. Työn puitteissa nykyiseen järjestelmään mallinnetaan kolmas robotti ja kuusi laatikon

pinontalaitetta, joiden simulointia ja analysointia käsitellään kappaleessa kuusi. Lopuksi pohditaan kehitystoimenpiteiden toteutusta.

2. ROBOTIT

Kappaleen tarkoituksena on tutustua robottien toimintaan. Työn kannalta on oleellista tutustua robotteihin, koska tässä työssä käsiteltävä järjestelmä on toteutettu lavausrobotteilla. Tässä kappaleessa tutustutaan teollisuuden eri robottityyppeihin sekä perehdytään hieman robotin ohjaukseen, säätöön ja ohjelmointiin. Viimeiseksi käsitellään robotin tartuntalaitteet ja elintarviketeollisuuden asettamia vaatimuksia roboteille.

Robotti on mekaaninen laite, joka voi tehdä osittain tai täysin tietokoneen ohjaamana mekaanisia toimenpiteitä. Robotti on uudelleen ohjelmoitava, ja sillä on vähintään kolme niveltä (SFS-EN ISO 1994). Robotit voidaan karkeasti jakaa kahteen eri ryhmään: palvelurobotteihin ja teollisuusrobotteihin. Tässä työssä keskitytään pelkästään teollisuusrobotteihin, koska ne ovat oleellinen osa käsiteltävää järjestelmää. Teollisuusrobotit toimivat nimensä mukaisesti teollisuudessa tehtaissa tai tuotantolaitoksissa.

Robotit voivat kasvattaa elintarviketeollisuuden tuottavuutta ja parantaa kilpailukykyä. Lisäksi robotti pystyy vapauttamaan työntekijän pitkäväteisestä ja itseään toistavasta työstä. Kuitenkin vaikeat tehtävät ja prosessit rajoittavat robotin käyttöä. Robotit eivät vielä ole levinneet laajalle alueelle elintarviketeollisuudessa, koska roboteilta puuttuu joustavuus joidenkin tehtävien suorittamiseen ja robotit ovat kalliita ratkaisuja, kun käsiteltävät kappaleet ovat pieniä ja vaihtelevia kooltaan. Robottien kehittäminen sille tasolle, mitä elintarvikeala vaatii, on suuri teknologinen haaste. (Eurofound 2006)

2.1. Lavausjärjestelmän asettamat vaatimukset lavausrobotille

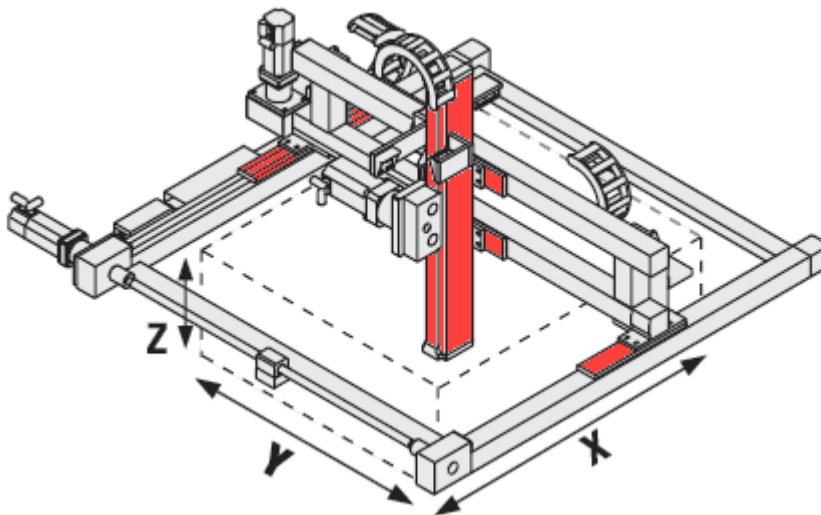
Ennen robottityyppien esittelyä käydään läpi lavausjärjestelmän robotin vaatimukset karkealla tasolla. Niitä ovat:

- Robotin kuormankantokyky tulee olla vähintään 125 kg.
- Robotin tarttujan pitää pystyä käsittelemään yhdestä viiteen laatikkoa. Lisäksi tarttujassa täytyy olla laatikoiden pinontaominaisuus.
- Robotilla täytyy olla vähintään neljä niveltä, jotta se pystyy työskentelemään laajalla alueella xyz-koordinaatistossa. Robotin pitää pystyä myös kiertymään 360 astetta.
- Robotin täytyy olla rakenteeltaan sellainen, että se pystytään puhdistamaan sekä huoltamaan.
- Turvallisuus täytyy huomioida suunnittelussa.
- Toistotarkkuus oltava ± 3 mm.

2.2. Robottityypit

Robotteja ja erilaisia robottityyppejä on suunniteltu useita tuhansia. Robotit pystytään jaottelemaan ja määrittelemään mekaanisen rakenteensa mukaan. Vakiintuneita robottityyppejä on yhteensä neljä kappaletta. Ne ovat suorakulmainen robotti, SCARA-robotti, kiertyvänivellinen robotti ja sylinterirobotti. Näiden lisäksi voidaan vielä mainita napa-koordinaatistorobotti ja rinnakkaisrakenteinen robotti, jotka ovat myös melko tunnettuja robottityyppejä. (Kuivanen 1999)

Suorakulmaisten robottien kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia. Yleisin suorakulmainen robotti on portaalirobotti, joka on tuettu työalueen nurkista palkeilla. Portaalirobottien liikerata on rajallinen, sillä se liikkuu kahden jalan varassa lineaarisesti vaakapalkin mahdollistaman liikeradan mukaan. Robotti tarttuu kappaleeseen ylhäältä päin ja se pystyy liikuttamaan kappaletta rajoitetulla alueella tarkasti. (Kuivanen 1999) Kuvassa 2.1 on esitetty portaalirobotti. Kuvasta nähdään myös robotin vapausasteet.



Kuva 2.1. Portaalirobotti ja koordinaatistot. (Heikkinen & Laakso 2010)

Portaalirobotin lisäksi karteellinen robotti kuuluu suorakulmaisiin robotteihin. Se on rakenteeltaan hyvin samankaltainen kuin portaalirobotti, mutta se on tuettu vain toiselta puolelta. Juuri tämän vuoksi karteellisen robotin kuormankantokyky on heikompi kuin portaalirobotin.

Toinen paljon käytetty teollisuusrobotti on SCARA-robotti. Robotin nimi tulee sanoista: Selective Compliance Assembly Robot Arm. SCARA-robotissa on kolme kiertävää niveltä, joiden avulla työkalu saadaan tasolla oikeaan kohtaan ja kiertymäkulmaan. Neljäs lineaarinen pystyliike on työtason normaalin suuntainen. SCARA-robottia käytetään usein teollisuuden kokoonpano- ja kappaleenkäsittelytehtävissä. Koska vapausasteita on vähän ja työalue on pieni, SCARA-robottia ei voida käyttää kuin yksinkertaisiin ja helppoihin tehtäviin. Hyvinä puolina voidaan pitää robotin nopeutta ja pientä kokoa. (Kuivanen 1999) Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 2.2 on esitetty perinteinen SCARA-robotti.



Kuva 2.2. *Robottivalmistajan Kukan SCARA-robotti. (Direct Industry 2011)*

Yleisin teollisuusrobotti on kiertyvänivelinen robotti. Tässä robottityypissä kaikki nivelet ovat kiertyviä. Kiertyvänivelinen robotti muistuttaa ihmisen käsivartta. Tämä onkin ollut suunnittelun lähtökohtana, jotta robotilla voidaan suorittaa monimutkaisia työtehtäviä valitulla työkalulla. Robotin työkalu voikin olla esimerkiksi hitsauslaite, hiontalaite tai maalaussuti. (Kuivanen 1999)

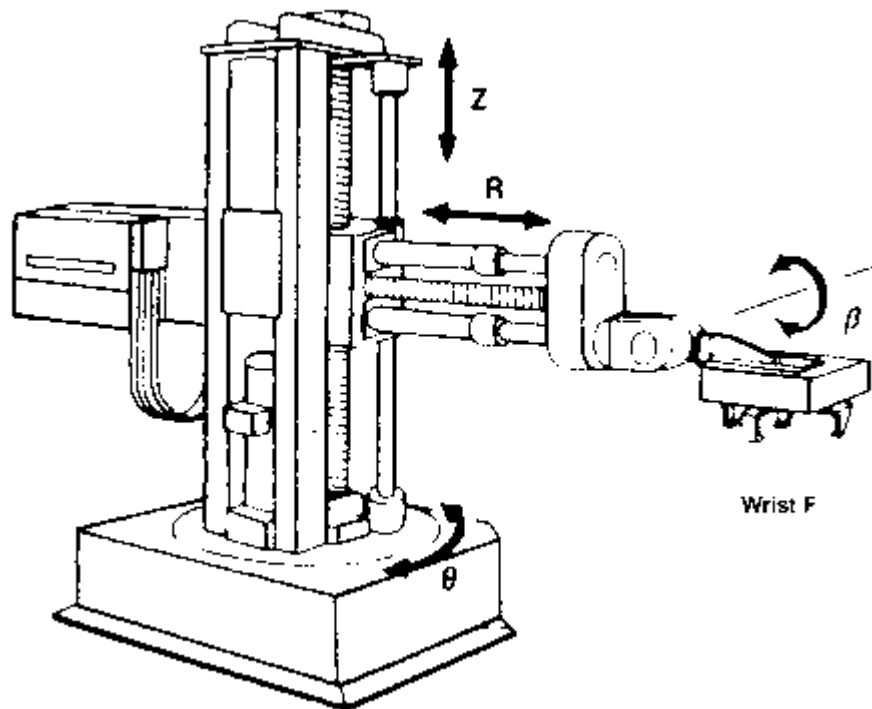
Kiertyvänivelisten robottien kuormankantokyky on usein heikko johtuen siitä, että robotin tukivarret on kytketty peräkkäin. Toisaalta tämä antaa robotille mahdollisuuden toimia laajemmalla alueella. Näiden robottien liikeradat koostuvat usein monista pienistä akselin liikkeistä, mikä tekee liikkeistä hankalia sekä hitaita. Myös lineaarinen liike pisteiden välillä voi olla hankalasti toteutettavissa. Seuraavalla sivulla on esitetty (kuva 2.3) ABB:n valmistama kiertyvänivelinen robotti.



Kuva 2.3. ABB:n valmistama nivelrobotti IRB 2400. (*Direct Industry 2011*)

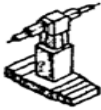
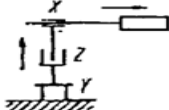


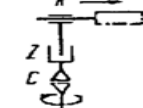


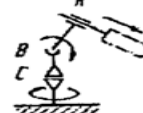

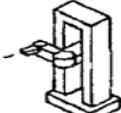
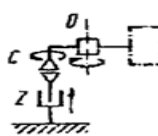


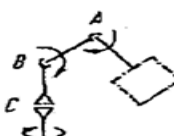


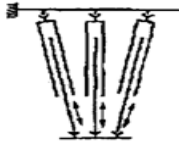

Kuvan 2.3 robotin kuorma voidaan valita 7-20 kg:n väliltä. Maksimiulottuvuus on 1.81 metriä. ABB:n mukaan IRB 2400 on luokkansa suosituin teollisuusrobotti.

Sylinterirobotin nimitys on luonnollisesti peräisin sylinterikoordinaatistosta. Tässä robotissa on yksi koko rakennetta kääntävä pyörivä akseli. Muut robotin liikkeet ovat lineaarisia. Kuvassa 2.4 on esitetty perinteinen sylinterirobotti.



Kuva 2.4. Perinteinen sylinterirobotti. (Pitkälä 2008)

Kuvassa 2.5 on vielä esitetty yleisimpien robottien rakenteet, kinemaattiset kaaviot ja työalue. Kuvasta selviää eri robottityyppien rakenteelliset eroavaisuudet.

| Nimitys pääakseleiden mukaan | Rakenne | Kinemaattinen kaavio | Työalue |
|-------------------------------|---|--|---|
| Suorakulmainen robotti |  |  |  |
| Sylinterirobotti |  |  |  |
| Napa-koordinaatisto-robotti |  |  |  |
| Scara-robotti |  |  |  |
| Kiertyvänivelinen robotti |  |  |  |
| Rinnakkaisrakenteinen robotti |  |  |  |

Kuva 2.5. Yleisimpien robottityyppien rakenteet. (Kuivanen 1999)

2.3. Robottien ohjausjärjestelmät

Robotin ohjausjärjestelmä koostuu tavallisesti keskusyksiköstä, massamuistista, jolla ohjelmat saadaan talteen, käsiohjaimesta, jolla operaattori pääsee robottiin käsiksi, liitynnöistä ulkoisiin tietokoneisiin, nivelkohtaisista servotoimilaitteista ja teholähteestä, joka muuttaa sähkönsyötön järjestelmälle ja laitteille sopivaksi. (Kuivanen 1999)

Robottien ohjausjärjestelmät ovat reaaliaikaisia prosessitietokoneita, jotka pystyvät ohjaamaan robotin toimilaitteita useita tuhansia kertoja sekunnissa ja havaitsemaan ympäristössä tapahtuvia muutoksia. Tällaisille ohjausjärjestelmille on ominaista, että niissä toimii näennäisesti useita tietokoneohjelmia samanaikaisesti kuitenkin siten, että jokainen ohjelma suoritetaan tietyin aikavälein. Ohjelmat pystyvät vaihtamaan tietojaan viestien ja jaetun muistin avulla. (Kuivanen 1999)

2.3.1. Robottiohjauksen tehtävät

Robottien ohjausjärjestelmien tehtävät voidaan jakaa viiteen ryhmään. Nämä ovat liikeohjaus, ohjelmointi ja opetus, ohjelmien toisto ja liikkeiden suoritus, turvallisuustoimet ja huolto- ja käyttöönotto tehtävien avustaminen. (Kuivanen 1999)

Liikeohjauksen tehtävänä on ohjata toimilaitteet tiettyihin paikkaohjearvoihin siten, että tietty liiketila säilyy. Tätä toimintoa kutsutaan servotehtäväksi. Toinen liikeohjauksen tehtävä on toteuttaa tarvittavat liikkeet ohjelmien ajon, ohjelmoinnin ja opetuksen aikana. (Kuivanen 1999)

Ohjelmointiin ja opetukseen liittyviä tehtäviä on useita. Robotin on pystyttävä muodostamaan liikeratoja käsiohjaimen avulla tai hyväksymään muualla toteutettu ohjelma. Robotin tulee hidastaa liikkeitänsä ohjatusti robottiohjelmistojen testausvaiheessa. Järjestelmän pitää pystyä muodostamaan loogisia rakenteita sekä huomioida aistimien tekemät havainnot. Lisäksi järjestelmän pitää pystyä muuttamaan, tallentamaan ja lataamaan ohjelmia. (Kuivanen 1999)

Robottien ohjausjärjestelmien kolmas tehtävä on ohjelmien toisto ja liikkeiden suoritus. Toisin sanoen järjestelmän pitää pystyä tulkitsemaan ohjelmakoodia käskyriivi kerrallaan. Vaikka robotti suorittaakin koodissa olevat liikkeet, tulee sen huomioida ympäristöä aistimien avulla. Robotin kohdatessa ympäristössään esteitä tulee sen muuttaa liikeratojaan tai muuttaa vaiheiden suoritusjärjestystä. (Kuivanen 1999)

Turvallisuuteen teollisuudessa on jo pitkään kiinnitetty entistä enemmän huomiota, joten myös robotin yksi tärkeimmistä tehtävistä on turvallisuustoimintojen toteuttaminen. Ohjausjärjestelmän pitää estää väärät liikkeet tekemällä hätäpysäytys. Järjestelmän tulee indikoida käyttäjiä huoltoa varten ja diagnosoida huoltokohteet. Turvallisuustoimintoihin kuuluu myös robotin toiminnan alustaminen esimerkiksi sähköhäiriön jälkeen. Eri toimintojen testaus on osana turvallisuuden asettamia vaatimuksia. Robottien ohjausjärjestelmien periaatteena pidetään sitä, että kaiken täytyy olla kunnossa tai robotin käsivarsi ei liiku. (Kuivanen 1999)

Viimeinen ohjausjärjestelmän tehtävä on toimia apuna huoltotehtävissä ja käyttöönotossa. Eli robotin tulee pystyä suorittamaan joitakin tehtäviä vain osittain. Esimerkiksi robotin käsivartta pitää pystyä liikuttamaan ilman, että moottoreita käynnistetään. Tämä on tarpeellista etenkin huoltotöitä tehtäessä. (Kuivanen 1999)

2.3.2. Robotin koordinaatistot

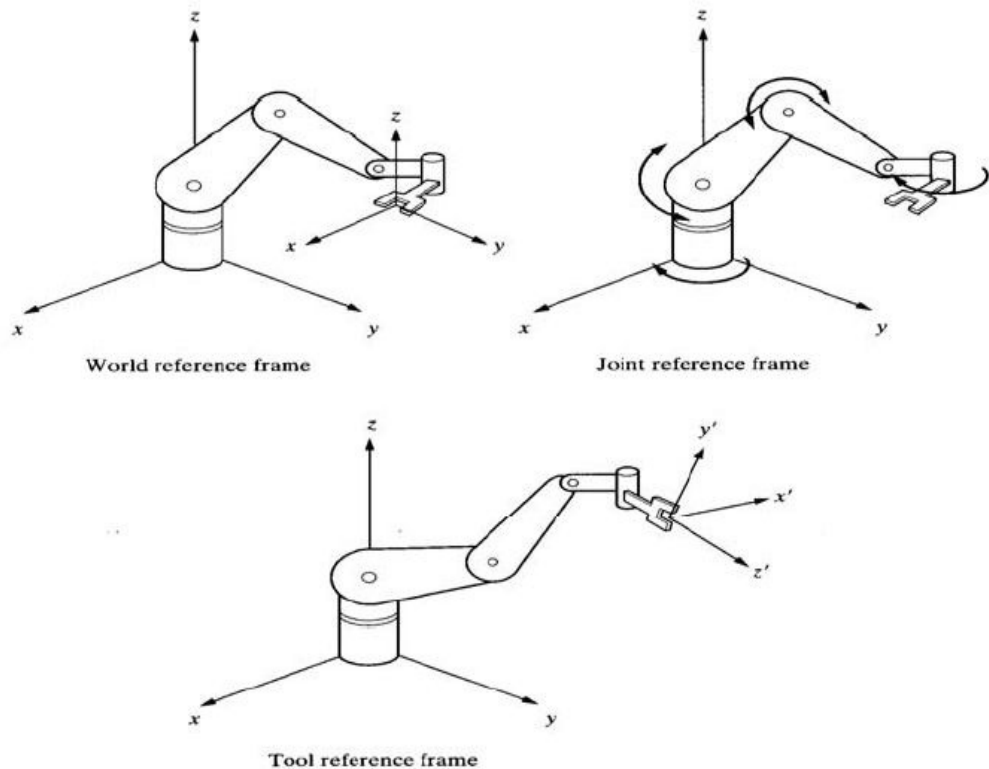
Teollisuusrobotin koordinaatistot voidaan jakaa maailma-, perus- ja työkalukoordinaatistoon. Ne ovat yleisesti suorakulmaisia koordinaatistoja, jotka perustuvat oikeankäden sääntöön. Tämän säännön mukaan peukalo näyttää x-akselin positiivisen suunnan, etusormi osoittaa y-akselin positiivisen suunnan ja keskisormi osoittaa z-akselin positiivisen suunnan.

Maailmakoordinaatisto (world reference frame) on robotin työskentely-ympäristöön sidottu universaali koordinaatisto, joka on robotin ulkopuolinen koordinaatisto. Tässä koordinaatistossa robotin nivelet liikkuvat samanaikaisesti muodostaen liikkeitä kolmen

pääakselin suhteen. Robotin käden asennolla ei ole siis vaikutusta maailmakoordinaatiston suuntiin. Tätä koordinaatistoa käytetään kuvamaan robotin liikkeitä muiden työympäristössä sijaitsevien laitteiden, joiden kanssa robotti työskentelee, suhteen. (Niku 2001)

Peruskoordinaatisto on sidottu robotin jalustaan. Normaalilla robotilla, joka on asennettu pystysuoraan, z-akseli osoittaa suoraan ylöspäin ja x- ja y-akselien välinen taso on lattiataso. Tässä koordinaatistossa robotin asennusasennolla on vaikutusta akselien suuntiin. Peruskoordinaatisto tunnetaan myös nimellä nivelkoordinaatisto (joint reference frame), jolloin koordinaatisto on sidottu robotin niveleen. (Kuivanen 1999)

Työkalukoordinaatisto (tool reference frame) on suorakulmainen koordinaatisto, joka on sidottu robotin työkaluun tai työskentelyn kohteena olevaan kappaleeseen. Toisin kuin maailmakoordinaatistossa työkalukoordinaatisto liikkuu robotin mukana. Tämä koordinaatisto on erittäin käytännöllinen robotin ohjelmoinnissa, kun robotin halutaan liikkuvan eri kohteiden välillä johdonmukaisesti. (Niku 2001) Kuvassa 2.6 on vielä havainnollistettu robottien eri koordinaatistot.



Kuva 2.6. Robottien koordinaatistot. (Niku 2001)

2.4. Ohjelmointi

Robottien ohjelmointi on lähtenyt liikkeelle sähkömekaanisista kytkennöistä, joiden avulla nivelet saatiin ajamaan kohti haluttuja rajatkaisijoita vaihe kerrallaan. Myöhemmin kouran liikkeet opetettiin johdattamalla eli niin sanotusti nauhoittamalla nivelten paikka-antureita ja toistamalla näitä liikkeitä. Suurimmassa osassa robottisovelluksia

robotin käsivarsi on opetettu liikkumaan tiettyihin pisteisiin, mutta itse logiikka on ohjelmoitu tietokoneilla. (Kuivanen 1999)

Ohjelmoinnilla on kolme tärkeää tehtävää. Ohjelmoinnilla laaditaan toimintajärjestys ja logiikka robottikäsivarren liikkeille sovelluksessa tarvittavien työkalujen liikkeiden toteuttamiseksi. Lisäksi robotin käsivarren liikkeet tahdistetaan ympäristön signaaleihin, ja robotti välittää tarvittavia tietoja muille laitteille, jotka ovat osana järjestelmää. Robotin ohjelmoinnissa tulee ottaa myös huomioon robotin toiminta virhetilanteissa. Robotille täytyy määrittää toimintaohjeet, jotka suoritetaan, mikäli järjestelmä altistuu häiriölle. (Kuivanen 1999)

2.4.1. Johdattamalla ohjelmointi

Johdattamalla ohjelmointi lähti siitä, että robotin koura vapautettiin ja määrittelyvaiheessa ihminen liikutti fyysisesti robotin työkalua niin, että haluttu liikerata saatiin aikaiseksi. Nivelten paikka-antureiden lukemat kerättiin talteen ja nauhoitettiin instrumenttianturiin liikkeiden aikana. Nauhurille kerätyt tiedot yhdistettiin nivelten toimilaitteiden säätöpiireihin ohjearvoiksi, kun liikkeitä oli toistettu useasti. Tämän jälkeen nauhaa voitiin kelata joko alkuperäisellä tai hieman muutetulla nopeudella. Tätä ohjelmointitapaa kutsutaan johdattamalla ohjelmoinniksi. (Kuivanen 1999)

Tämä ohjelmointitapa mahdollisti maalausrobottien yleistymisen muita sovelluksia nopeammin. Robottimaalauksen jälki oli riittävän hyvä, vaikka toteutuneet liikeradat eivät toistuneetkaan aivan tarkasti. (Kuivanen 1999)

Tässä ohjelmoinnissa on myös omat vaikeutensa. Mikäli ohjelmaa halutaan muuttaa, tarkoittaa se usein sitä, että ohjelma täytyy ohjelmoida alusta asti uusiksi. Tämä taas vie aikaa ja resursseja. Magneettinauhat, johon ohjelmat tallennettiin, olivat hankala arkistoida ja käsitellä. Ohjelmista oli myös hankala saada aivan tarkkoja. (Kuivanen 1999)

2.4.2. Opettamalla ohjelmointi

Opettamalla ohjelmointi on hyvin yleinen ohjelmointitapa robotteja ohjelmoitaessa. Robotin ohjelmointi tapahtuu viemällä työkalu haluttuun pisteeseen robottiohjaimella ja tallettamalla asemapiste muistiin. Robotin työkalu voidaan myös viedä haluttuun pisteeseen käyttämällä fyysistä voimaa samaan tapaan kuin johdattamalla ohjelmoinnissakin, mutta tässä ohjelmointitavassa liikeratoja ei nauhoiteta instrumenttianturiin vaan pelkät pisteet tallennetaan. Usein opettamalla ohjelmoinnin tukena käytetään myös päätteeltä tapahtuvaa ohjelmointia. Liikkuminen eri pisteiden välillä ohjataan perinteisillä ohjelmointimenetelmillä eli erilaisilla hyppykäskyillä ja aliohjelmilla. (Kuivanen 1999)

Robottiohjelma pystytään tekemään pelkästään käsiohjaimen avulla. Tämän lisäksi kuitenkin tarvitaan ohjaussauva robotin liikuttamiseksi, pääte, editoriohjelma ja käyttöjärjestelmä sekä ulkoinen liitäntä, jolla ohjelma voidaan siirtää ja varastoida. Tärkeänä pidetään, että käsiohjaimen avulla pystytään suoraan selaamaan robotin käskykantaan ilman erillistä ohjekirjaa. Liikeratojen määrittämistä voidaan nopeuttaa kirjoittamalla uutta robottiohjelmaa, kun käsivarsi suorittaa toista ohjelmaa, käyttämällä runsaasti suh-

teellisiä asemia, jotka lasketaan muista käsivarrelle opetetuista asemista sekä kirjoittamalla ohjelmat tietokoneella mahdollisimman valmiiksi ja siirtämällä ne robotin ohjausjärjestelmään. (Kuivanen 1999)

Robotin käsivarren täytyy tehdä mahdollisimman paljon tuottavaa työtä, ja siksi liikeratojen määrittäminen täytyy olla nopeaa. Vaikka ohjelmointi nopeutuukin käyttämällä ulkoista tietokonetta, ohjelmointia ei voida suorittaa pelkästään tällä tavoin, koska niin robotin kuin työympäristön koordinaatit ja 3D-mallit ovat epätarkkoja. Tämä ongelma voidaan kompensoida käyttämällä aistinjärjestelmää, joka huomioi todellisen maailman epätarkkuudet myös mallissa. Tällöin voidaan koko ohjelmointiprosessi suorittaa ulkoisella tietokoneella. (Kuivanen 1999)

Tallennetut nurkkapisteet muodostavat robotin liikeradan. Robotti voi toteuttaa saman liikeradan toisellakin työkalulla, kun tiedetään uuden työkalun niin sanottu työkalukompensointi eli asento- ja paikkaero työkalulaipan ja uuden työkalukoordinaatiston origon välillä. Robotin työkalun törmätessä voidaan vääntyneelle työkalulle määritellä uusi työkalukompensatio ja näin ollen koko liikerataa ei tarvitse ohjelmoida uudestaan. (Kuivanen 1999)

Kuvassa 2.7 on esitetty Motomanin NX100-ohjauskeskus. Kuvan robottiohjaimessa on helppokäyttöinen navigaationäppäin, täysvärikosketusnäyttö ja kätevä Compact Flash -asema, jonka avulla muisti on helppo varmuuskopioida. Kaikki käyttöpainikkeet on sijoitettu käsiohjaimeen, joten ohjauskaappi voidaan sijoittaa kauemmaksi sovelluskohteesta. (Motoman 2010)



Kuva 2.7. Motomanin NX100-ohjauskeskus.

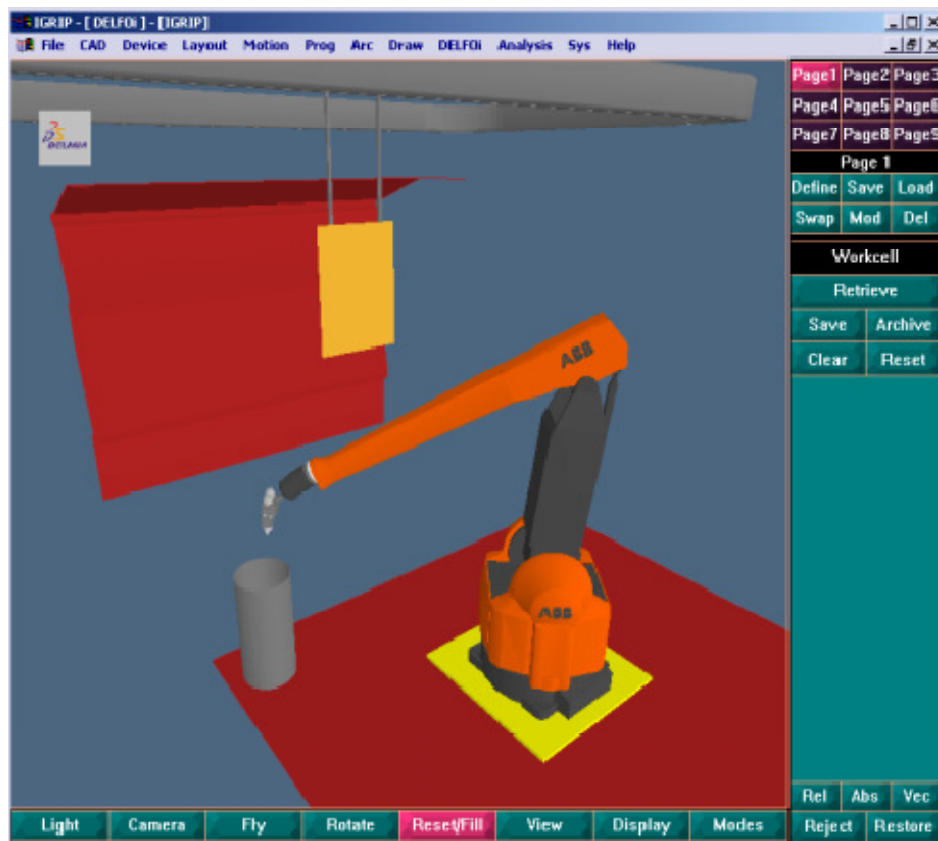
2.4.3. Etäohjelmointi

Etäohjelmointia kutsutaan myös nimellä offline-ohjelmointi. Mallipohjaisessa etäohjelmoinnissa robottia ohjelmoidaan ilman tuotantorobottia, tuotannon ulkopuolisessa tietokoneessa käyttäen kolmiulotteista graafista käyttöliittymää ja robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja sekä hyödyntäen valmistettavan tuotteen suunnittelun 3D-muototietoa. Koska ohjelmointi suoritetaan muualla kuin robottisolussa ja robottia ei tarvitse välttämättä pysäyttää ohjelmoinnin ajaksi, voidaan ohjelmointi suorittaa häiritsemättä tuotantoa. Etäohjelmointi parantaa tuotannon laatua, lisää joustavuutta ja lyhentää seisokkiaikoja.

Etäohjelmointi antaa mahdollisuuden simuloida kappaleen valmistusta jo ennen kuin tuotanto aloitetaan. Näin ollen koekappaleiden määrä vähenee ja mahdolliset liikeratojen korjaukset voidaan tehdä etukäteen. Onnistunut etäohjelmointi vaatii mittatarkan kuvauksen valmistettavasta kappaleesta, ja simulointimallin tulee muutenkin olla tarkka ja vastata todellista tuotantosolua. Suurimmat haasteet ja ongelmat liittyvät lähes poikkeuksetta mallien, tuotantosolun, robottien tai työntekijöiden epätarkkuuteen.

Kehittyneimmät mallipohjaiset järjestelmät tukevat useita eri CAD-suunnitteluohjelmistoja ja useita robottimerkkejä. Nämä ohjelmistot hyödyntävät robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja ja tuotemallin muototietoa. Mallipohjaisissa ohjelmointijärjestelmissä on liittynyt muihin CAD-ohjelmistoihin, ja näin ollen esimerkiksi AutoCAD-ohjelmistolla tehty layout-kuva voidaan suoraan siirtää järjestelmään.

Kun robottisolusta on tehty tarkka simulointimalli ja robotin ja sen oheislaitteiden liike- ja kinemaattiset ominaisuudet on mallinnettu, voidaan aloittaa ohjelmointi. Etäohjelmointi perustuu kuten opettamalla ohjelmointikin robotin paikoituspisteiden tallentamiseen. Ohjelmointiin tarkoitetuissa ohjelmistoissa on mahdollisuus käyttää apuna kolmiulotteista muototietoa pisteiden määrittämiseen. Varsinainen ohjelmointi alkaa paikoituspisteiden määrittämisen jälkeen. Ohjelmoinnin avulla ohjelmalle kerrotaan, mitä missäkin pisteessä halutaan tehdä. Ohjelmointi suoritetaan joko komento kerrallaan tai tehtäväkokonaisuus kerrallaan. Ohjelmoinnin jälkeen suoritetaan verifiointi eli simuloidaan robottisolun toimintaa. Ohjelman toimiessa halutulla tavalla ohjelma käännetään robottikielille. Robottikieliset ohjelmat siirretään tuotantorobotille esimerkiksi verkon välityksellä. Kuvassa 2.8 on esitetty simulointimalli, joka on tehty Igrip-ohjelmistolla.



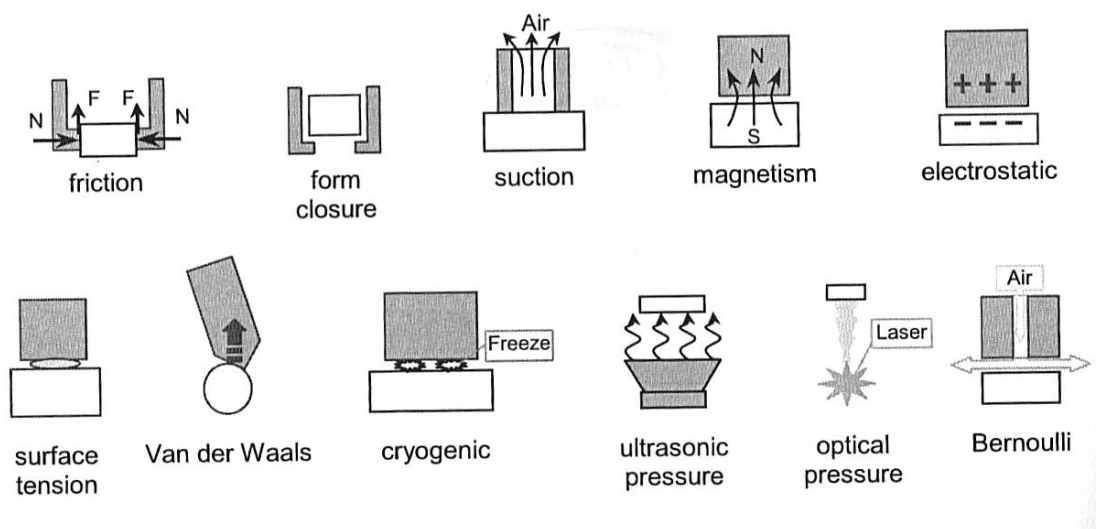
Kuva 2.8. Simulointimalli Igrip-ohjelmistolla. (Maalauksen etäohjelmointi 2005)

Etäohjelmointia kannattaa käyttää, jos tuotanto on asiakasohjautuvaa, valmistussarjat ovat pieniä ja tuotteiden elinkaaret ovat lyhyitä. Tämä ohjelmointi sopii myös silloin, jos valmistusprosessi edellyttää robotilta suurta määrää paikoituspisteitä. Esimerkkinä tästä voidaan pitää muun muassa hitsausta ja maalausta. Mikäli ohjelmointia ei voida suorittaa tuotannossa esimerkiksi turvallisuussyistä, on etäohjelmointi silloin hyvä tapa ratkaista tämä ongelma. Esimerkiksi ydinvoimalaitoksissa opettamalla ohjelmointia ei usein voida tehdä paikan päällä. Lisäksi on luonnollista käyttää offline-ohjelmointitapaa, kun tuotekehityksestä ja -suunnittelusta on valmiina 3D-malli tuotteelle. (Kuivanen 1999)

2.5. Robotin tarttumat

Robotin työkalulla tarkoitetaan sitä robotin osaa, jota robotti siirtää paikasta toiseen. Työkaluista yleisin on tarttuja. Tarttuja tai tarrain toimii niin sanotusti robotin kätenä automaattisessa kokoonpanossa ja materiaalin käsittelyssä. Tarttujan valinta tai suunnittelu on tärkeä osa järjestelmän suunnittelua. Useinkaan sen valinta tai suunnittelu ei ole yksioikoista, vaan tarttuja voidaan joutua vaihtamaan testausvaiheessa tai vielä tuotantovaiheessa. Tarttujatyyppejä on useita erilaisia. Tässä kappaleessa tutustutaan yleisiin tarttujaratkaisuihin. (TTE-5020 Automaattinen kokoonpano: Tarraimet 2009; Kuivanen 1999)

Tarttujat voidaan jaotella usealla eri tavalla. Yleensä kuitenkin jaottelu tehdään tarttumisperiaatteen mukaan. Kappaleeseen tarttuminen voidaan tehdä usealla eri menetelmällä. Tarttujia voidaan myös varustaa siten, että siinä on kaksi erilaista tarttumismenetelmää yhdistettynä. Kuvassa 2.9 esitellään erilaisia robotin tarttumistekniikoita. Edempänä esitellään perinteisimmät menetelmät kappaleeseen tarttumiseksi. (TTE-5020 Automaattinen kokoonpano: Tarraimet 2009)



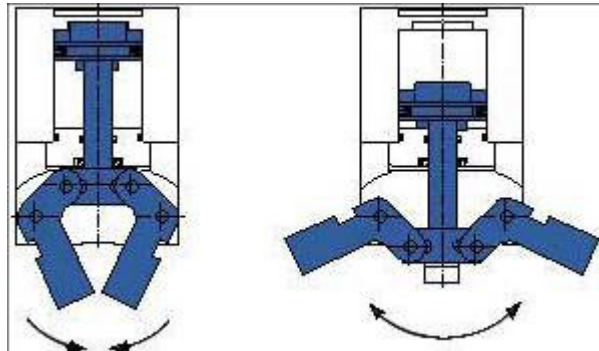
Kuva 2.9. Tarraamistekniikoita (TTE-5020 Automaattinen kokoonpano: Tarraimet 2009).

2.5.1. Mekaaniset tarttujat

Mekaanisilla tarttujilla on yleensä kaksi tai kolme sormea. Tartunta perustuu yleensä kitkaan tai se voi olla muotosulkeinen. Mekaanisen tarttujan toimilaitteita ohjataan usein joko pneumaattisesti, sähkömekaanisesti tai hydraulisesti. Mekaaniselle tarttujalle asetetaan usein erilaisia vaatimuksia. Niitä ovat:

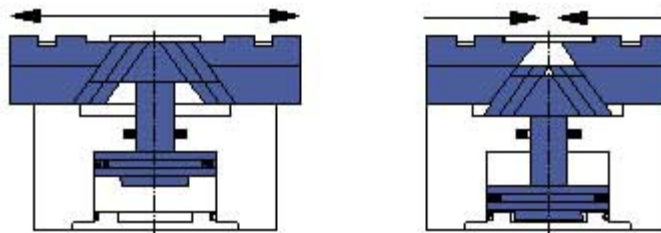
- Mekaaninen rakenne on mahdollisimman yksinkertainen.
- Tarttujan paino on mahdollisimman pieni.
- Tarttujan tilavuus on mahdollisimman pieni.
- Kappaleet on pystyttävä keskittämään.
- Sormilla on korkea kiihtyvyys ja nopeus.
- Tarttujan absoluutti- ja toistotarkkuus ovat hyviä.
- Tarttujalla on joustava mekaaninen rajapinta.
- Mahdollisimman halpa.
- Rakenne on modulaarinen.
- Soveltuu toimintaympäristöön.
- On helposti liitettävissä muihin järjestelmiin.
- Pitkä huoltoväli.
- Ei tiputa osia kiihdyttäessä.

Kuvassa 2.10 on esitetty saksitarttujatyypin mekaaninen tarttuja, jonka käyttö tulee kysymykseen, kun työskentelytila on rajattu.



Kuva 2.10. Saksitarttuja. (TTE-5020 Automaattinen kokoonpano: Tarraimet 2009)

Kuvassa 2.11 on lineaaritarttuja. Sitä käytetään kohteissa, jossa tarvitaan erityisen korkeaa tarkkuutta.



Kuva 2.11. Lineaaritarttuja (TTE-5020 Automaattinen kokoonpano: Tarraimet 2009)

2.5.2. Alipainetarttijat

Alipaineeseen perustuvia tarttuja käytetään silloin, kun mekaanisen tarttujan käyttö on haasteellista tai mahdotonta. Imutartunta tehdään kappaleeseen yleensä vain yhdeltä sivulta. Yleensä tarttujan imukupin materiaali on kumia tai muovia. Tällaiset materiaalit eivät yleensä vahingoita käsiteltävää kappaletta. Toisaalta materiaalivalinnoilla voidaan myös kompensoida lämpötilojen aiheuttamia ongelmia. Tartuntavoimaa voidaan lisätä lisäämällä imukuppeja. Kuitenkin on huomattava, että jos yksikin imukuppi irtaoo, häviää alipaine ja käsiteltävä kappale putoaa. Tartuntavoima riippuu siis alipaineen suuruudesta, imukupin koosta ja niiden määrästä. Tartuntavoima voidaan laskea kaavasta:

$$F = (p_0 - p_k) A n_3 \eta z \frac{1}{s}, \quad (1)$$

missä

F on voima [N]

p_0 on ulkoilmanpaine [Pa]

p_k on työpaine [Pa]

A on imukupin ala [m²]

n_3 on muodonmuutoskerroin 0,6 – 0,9 [-]

η on hyötysuhde [-]

z on imukuppien lukumäärä [-]

S on varmuuskerroin [-]

Alipainetartuntaa pidetään yksinkertaisimpana tapana käsitellä kappaleita, ja usein sovelluskohteiden tehtaissa on paineilmaa saatavilla. Imukuppi on rakenteeltaan yksinkertainen ja yleensä luotettava, sillä siinä on vain vähän liikkuvia osia. Tämän lisäksi imukupit ovat joustavia ja soveltuvat puhdastiloihin. Imukupit vaativat usein tasaisen, sileän, puhtaan ja tiiviin pinnan toimiakseen kunnolla. Haittoina voidaan pitää kappaleen keskityksen puuttumista sekä imukupin herkkyyttä pölylle.

Imutarttijat toimivat pääasiassa painealueella 0,7 – 0,3 bar. Alipaine voidaan tuottaa esimerkiksi

- alipainepumpulla
- venturiperiaatteella
- ”adheesio” imukupilla
- mäntäpumpulla
- puhaltimella.

Joihinkin tarttujiin on lisätty puhallustoiminto. Puhallustoimintoa käytetään kappaleiden irrottamiseen, irtoamisen varmistamiseen sekä irrottamisen nopeuttamiseksi. Kyseistä toimintoa tarvitaan etenkin kevyiden ja pienien kappaleiden käsittelyssä. (TTE-5020 Automaattinen kokoonpano: Tarraimet 2009; Kuivanen 1999)

Kuvassa 2.12 on esitetty Skanveir Mammoth alipainetarrain, joka on tarkoitettu raskaiden ja suurikokoisten levyjen ja hitsattujen paneelien käsittelyyn. Kyseinen tarttuja pystyy nostamaan jopa 30 tonnin painoiset levyt. (Skanveir 2009)



Kuva 2.12. *Skanveir Mammoth Alipainetarttuja. (Skanveir 2009)*

2.5.3. Magneettitarttijat

Magneettitarttujia voidaan luonnollisesti käyttää vain magneettisille aineille. Magneetin nostovoima riippuu kappaleen materiaalista, muodosta, pinnanlaadusta, ilmaraosta ja magneetin lämpötilasta. Työkappaleessa täytyy olla riittävän suuri tasainen alue tartuntaa varten. Tartunta itsessään on nopeaa, mutta jäännösmagnetismi hidastaa irrotustoitmenpidettä. Käytettäessä kestmagneettia tarvitaan erillinen irrotuslaite. Tarttujana voidaan myös käyttää sähkömagneettia, jolloin magneettikentän suuntaa voidaan muuttaa ja täten kappaleen irrotus nopeutuu. (Kuivanen 1999)

2.5.4. Erikoistarttijat

Erikoistarttijat perustuvat esimerkiksi tartuntaelimen laajentumiseen tai mukautumiseen tartuttavan kappaleen ympärille. Tarttujan materiaali voi olla esimerkiksi lamelli tai jokin muu mekaanisesti muotoutuva elementti, joka tarttuu kappaleeseen. Muotoutuva elementti voi perustua granulaattiin, jota muokataan paineen avulla tai magneettipulveriin, jota ohjataan sähkömagneeteilla. Tällä hetkellä on myös kehitteillä joustava yleis-tarttuja, jolla voidaan tarttua useampaan erilaiseen kappaleeseen. (Kuivanen 1999; TTE-5020 Automaattinen kokoonpano: Tarraimet 2009)

2.6. Elintarviketeollisuuden vaatimukset roboteille

Elintarviketeollisuuteen suunnitelluille roboteille löytyy muutamia erityisvaatimuksia. Elintarviketehtaan tuotannossa etenkin puhtauteen ja hygieenisyyteen kiinnitetään erityistä huomiota, koska tuotteet ovat pilaantumisherkkiä. Seuraavaksi esitellään viisi robotille asetettua erityisvaatimusta elintarviketeollisuudessa.

Robotin tulee olla helposti puhdistettava ja sen rakenteessa tulee olla huomioitu hygieenisuus. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että robotin runkomateriaalina tulisi

käyttää ruostumatonta terästä ja robotin tulisi olla vedenkestävä. Lisäksi kaikki ulkoiset osat pitää olla näkyvillä niin, että niihin kertyvä lika huomataan ja pystytään puhdistamaan. Elintarviketeollisuuden robotin suunnittelussa tulee huomioida käsiteltävät tuotteet ja kappaleet. Jos esimerkiksi käsiteltävä tuote on pakkaamatonta raakaa lihaa tai kalaa, robotin hygieniatason täytyy olla hyvin korkea. Hygieniatasoa saadaan korkeammaksi esimerkiksi siten, että robotin työkiertoon ohjelmoidaan tarttuvien desinfiointi, jonka robotti suorittaa automaattisesti tietyin aikavälein. (Gray et al. 2010)

Elintarviketeollisuuden yksi vaatimus robotille on, että sen tulee olla edullinen hinnaltaan. Elintarvikevalmistajat ovat haluttomia investoimaan robotteihin, koska robottien korkeiden hintojen takia on vaikea saavuttaa hyväksyttävä investoinnin takaisinmaksuaika. Tyypillisesti yhdellä robotilla on samansuuruinen tuotantokapasiteetti kuin yhdellä ihmisellä yksinkertaisessa keräilytehtävässä. Tämä asettaa rajan sille, kuinka paljon valmistaja on valmis maksamaan robotista. Lisäksi kaikissa investoinneissa on omat riskinsä, ja yleisen periaatteen mukaan robotin pitää maksaa itsensä takaisin kahdessa vuodessa tai se ei ole kannattava investointi. (Gray et al. 2010)

Tuottavuuden kannalta elintarviketeollisuuden robotin täytyy olla ominaisuuksiltaan nopea, jotta se pystyy kilpailemaan ihmisen kanssa. Tuotannon kasvaminen robotin ansiosta johtaa pienentyneisiin tuotantokustannuksiin. Yksi yleisimmistä elintarviketeollisuuden tehtävistä on niin sanottu poimi ja aseta -tehtävä, jossa suuri määrä pieniä tuotteita poimitaan kuljetinhihnalta ja asetetaan pakettiin. Robottien poimi ja aseta -tehtävän suorittaminen on nopeutunut tasaisesti kehityksen myötä lähivuosina. Tähän työtarkoitukseen olevat robotit ovat yleistyneet elintarviketeollisuudessa. (Gray et al. 2010)

Robotin pitää olla myös turvallinen, kun se asetetaan ihmisten keskuuteen elintarviketuotannossa. Normaalisti tuotantolinjan yksinkertaiset työtehtävät korvataan robotilla, ja loput tuotantolinjan tehtävistä hoitaa ihminen. Turvallisuusasiat otetaan huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Kun robotti on tarkoitus sijoittaa ihmisten läheisyyteen, siitä pyritään tehdä mahdollisimman kevytrakenteinen, joten törmäystilanteessa ihmiseen ei kohdistu suuria voimia. Lisäksi robotit yleensä sijoitetaan suojatulle alueelle, joka on ympäröity turva-aidalla. (Gray et al. 2010)

Elintarviketeollisuuden tuotantolinjojen tarvitsee olla joustavia. Monia eri tuotteita tai tuotevariaatioita valmistetaan tyypillisesti samalla linjalla. Tämän takia robottien tulee olla helposti uudelleen ohjelmoitavissa. Usein kuitenkin tilanne on sellainen, että robottiohjelmien muuttamiseen tarvitaan alan osaajia, eikä tuotantolinjan operaattori kykene ohjelmaa muuttamaan. Ohjelmointityökaluja operaattoreille on lähdetty kehittämään käyttäjäystävällisempään suuntaan. Robottien yleistyminen elintarviketeollisuudessa vaatii selkeät käyttöliittymät ja ohjelmointityökalut, joita tuotantolaitoksen henkilökunta oppii käyttämään. (Gray et al. 2010)

3. SIMULOINTI

Simuloinnilla tarkoitetaan todellisen maailman prosessin tai järjestelmän toiminnan jäljittelyä. Mallintamisella tarkoitetaan todellisuuden esimerkiksi tietyn ilmiön tai systeemin esittämistä muulla tavalla kuin sillä itsellään. Mallintamisen tuloksena syntyvä malli, jolla kuvataan jonkun tietyn systeemin käyttäytymistä, on usein väline, jonka avulla jäljittely tehdään. (Banks 2005)

Simulointi on tärkeä työkalu, koska usein suunnitelmien taloudellinen tai toiminnallinen arviointi on monimutkaista eikä sitä pystytä tekemään luotettavasti yksinkertaisilla laskentamenetelmillä. Aikaelementin huomioiminen kapasiteetti- ja kannattavuuslaskelmissa on haastavaa ilman tähän tarkoitettuja ohjelmia. Tämän takia on kehitetty simulointiohjelmistoja, joiden avulla pystytään imitoimaan järjestelmän toimintaa luotettavasti. Simuloimalla eri järjestelmävaihtoehtoja voidaan tehdä päätelmiä järjestelmän toiminnasta, suorituskyvystä ja pullonkauloista. Päätelmien pohjana ovat lasketut koetulokset ja animaatiot järjestelmästä. (Banks 2005)

Simulointi on erittäin hyödyllinen työkalu, kun suunnitellaan esimerkiksi uutta tuotantolinjaa tai muutoksia nykyiseen järjestelmään. Simuloimalla pystytään mittaamaan investointia koskevat riskit ja voidaan usein välttää turhilta tuotantolinjojen muutoksilta tai hankinnoilta. Myös työntekijöiden määrät pystytään arvioimaan tarkasti jo ennen investointia ja tilankäyttö on helpompi optimoida käyttämällä simulointia. Valmista simulointimallia voidaan käyttää avuksi järjestelmän käyttöönotossa, ja se on oiva työkalu myös koulutuksessa.

3.1. Simulointimenetelmät

Simuloitavia järjestelmiä on monia erilaisia, joten on jouduttu kehittämään myös erilaisia simulointimenetelmiä. Yleisesti jako eri simulointimenetelmien välillä voidaan tehdä sen mukaan, kuinka mallin tila muuttuu. Mallin tila voi muuttua tietyn aikajakson välein, jolloin puhutaan diskreettiaikaisesta simuloinnista tai muutoksia voi tapahtua jatkuvasti, jolloin on kyse aikajatkuvasta simuloinnista. Ulkolämpötilan muutos ajanfunktiona on esimerkki aikajatkuvasta tapahtumasta. Esimerkki diskreettiaikaisesta tapahtumasta on pakkauskone, johon saapuu kappaleita ja josta lähtee kappaleita tietyn aikajakson välein. Kohteesta riippuen simulointi voi olla myös näiden molempien yhdistelmä. (Kilpeläinen 1997)

Diskreettiaikainen järjestelmä voidaan edelleen jakaa aika- ja tapahtumaohjautuviin. Aikaohjautuva diskreettiaikainen järjestelmä tarkastelee tilaansa tietyin aikavälein. Tapahtumaohjattu diskreettiaikainen järjestelmä tarkastelee kaikkia siinä tapahtuvia tiloja ja niiden muutoksia tapahtuma- ja tilakohtaisesti ja päivittää muutosten edellyttämät

tapahtumat. Tässä työssä käsitelty lavausjärjestelmä simuloidaan käyttäen diskreetti aikaista ja tapahtumaohjattua simulointia. Aikajatkuvassa simuloinnissa on määritelty tietty minimimuutos jokaiselle muuttujalle, koska tietokone pystyy käsittelemään ainoastaan nollia ja ykkösiä. Minimuuoksia pienempiin muutoksiin tietokone ei reagoi. Mitä pienemmäksi muutosten välinen aika asetetaan, sitä kauemmin simulointi kestää, mutta myös sitä tarkempia tuloksia saadaan. (Kilpeläinen 1997)

3.2. Simulointiympäristöt

Eri laajuisille järjestelmille on olemassa omat simulointiympäristöt, joista käytetään nimityksiä tehdassimulointi, tuotantosimulointi ja laitesimulointi.

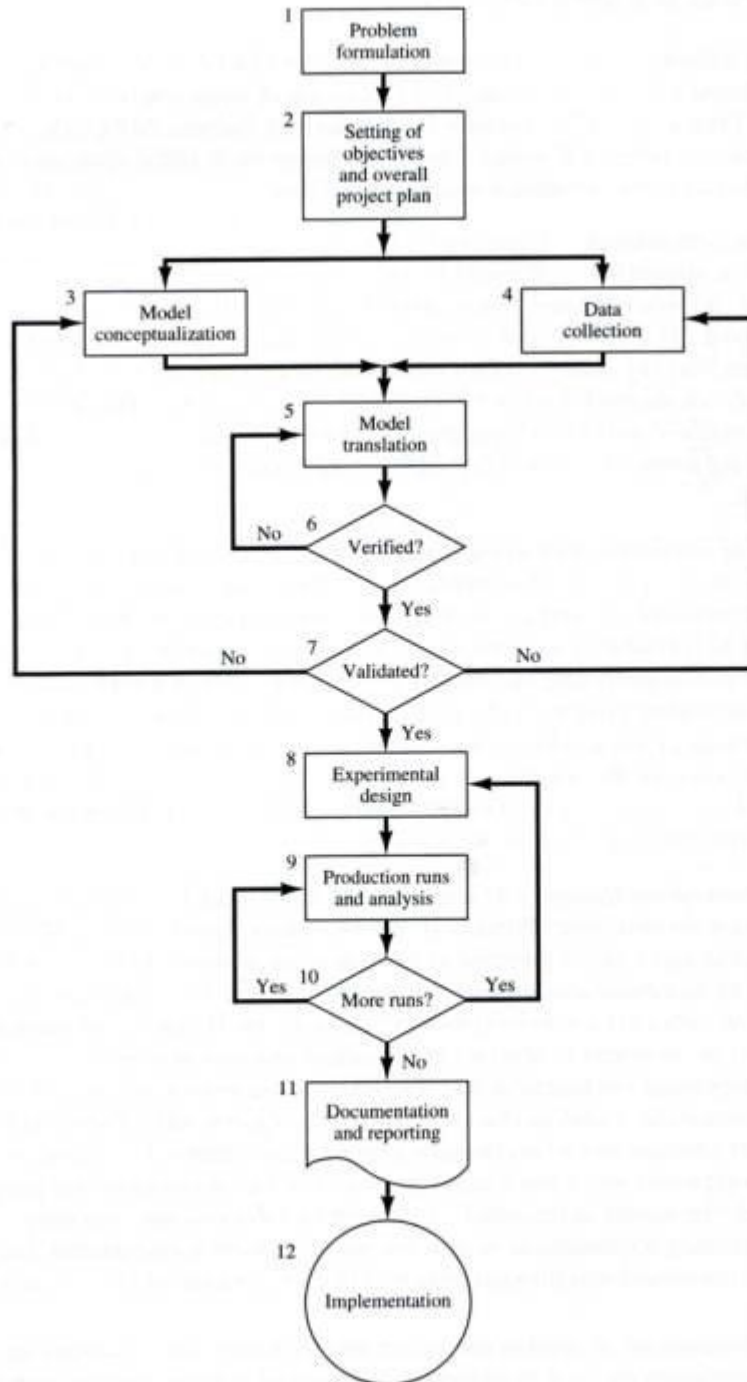
Tehdassimuloinnilla tarkoitetaan yleensä koko tehtaan tuotantoprosessin kattavaa tietokoneella tehtävää analysointia. Tehdassimuloinnissa simulointityö tehdään tarkoitukseen sopivalla tehdassimulaattorilla, jolla voidaan rakentaa tietokonetta hyväksikäyttäen todellista tuotantojärjestelmää vastaava malli, jossa eri tuotantoyksiköiden ja -laitteiden väliset riippuvuussuhteet sekä materiaalivirrat on kuvattu ja huomioitu. (Kilpeläinen 1997)

Tuotantosimulointi on kuin tehdassimulointia, mutta tuotantosimuloinnilla voidaan käsitellä myös pelkästään tehtaan joku tietty osa. Esimerkiksi yhtä tuotantosolua varten rakennettu simulointi voidaan käsitellä tuotantosimulointina. (Kilpeläinen 1997) Tässä työssä keskitytään juuri tuotantosimulointiin, jossa käsitellään tuotantoketjun yhtä itse näistä ja kriittistä osaa, lavausta.

Laitesimuloinnissa tarkastellaan vain yksittäistä konetta, esimerkiksi robottia, jolloin simuloinnilla tutkitaan koneiden liikeratoja, nopeuksia ja törmäystarkasteluja, ei niinkään materiaalivirtoja. Laitetason simulaattori voidaan toki viedä vaiheikoiseen ym. myös tehdassimulaattoriin, jolloin voidaan tutkia laitteen sopivuutta tehtaan materiaali-virtoihin. (Kilpeläinen 1997)

3.3. Simulointiprojektin vaiheet

Simulointiprojekti sisältää monta eri vaihetta, jotka täytyy käsitellä huolellisesti, jotta varmistutaan siitä, että simulointi suoritetaan onnistuneesti. Simuloinnista ja sen vaiheista löytyy paljon kirjallisuutta. Kuvassa 3.1 on esitetty Jerry Banksin kirjasta Discrete-Event System Simulation (Banks 2005) lainattu simulointiprojektin kulku. Jokaisessa simulointiprojektissa olisi syytä käydä kaikki kuvassa esitetyt vaiheet läpi. Usein projektin kulku on kuitenkin sellainen, että aikaisempiin vaiheisiin joudutaan palaamaan, kun määrittelyvaiheessa tehtyjä päätöksiä tai oletuksia muutetaan.



Kuva 3.1. Simulointiprojektin vaiheet. (Banks 2005)

3.3.1. Projektin hallinta

Ennen projektin aloittamista perustetaan projektiryhmä ja jokaiselle ryhmän jäsenelle laaditaan vastuualueet. On myös syytä miettiä, onko projekti niin laaja, että sitä varten kannattaa laatia vastuumatriisi, josta selviää jokaisen ryhmän jäsenen tehtävät. Vastuumatriisiin pystyakselille listataan tehtävät ja vaaka-akselille projektiryhmän jäsenet. Mat-

riisiin soluihin laitetaan kirjaimia, jotka indikoivat vastuutason. Vastuutaso voi olla esimerkiksi hyväksymisvastuu tai toteutusvastuu. Käyttämällä vastuumatriisia voidaan välttää väärinkäsityksiltä, kun kaikille ryhmän jäsenille on yhdessä määritelty omat vastualueet. (Verzuh 2008)

Projektin onnistumisen kannalta on tärkeää, että projektiryhmä laatii realistisen aikataulun, joka sisältää yksityiskohtaisen tiedon töiden suoritusajankohdista ja jossa työvaiheet on laadittu oikeaan järjestykseen. Yleisin menetelmä aikataulun kuvaamiseen on Ganttin kaavio, joka esittää projektin ja sen työvaiheiden edistymisen suhteessa aikaan. Vaaka-akseliin sijoitetaan aikajana ja pystyakselissa on kuvattuna työvaiheet. Kutakin työvaihetta kuvaava palkki sijoitetaan aikajanan siihen kohtaan, jolloin työvaihe olisi tarkoitus aloittaa. Ganttin kaavion hyvänä puolena pidetään sen selkeyttä. (Verzuh 2008) Taulukossa 3.1 on esitetty esimerkki Ganttin kaaviosta.

Taulukko 3.1. *Esimerkki Ganttin kaaviosta.*

| Projektin aikajana | Toukokuu | | | | Kesäkuu | | | | Heinäkuu | | | | Elokuu | | | |
|--------------------|----------|----|----|----|---------|----|----|----|----------|----|----|----|--------|----|----|----|
| | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| Työvaihe 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Työvaihe 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Työvaihe 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Työvaihe 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Työvaihe 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Työvaihe 6 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Työvaihe 7 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Vastuumatriisia ja Ganttin kaaviota voidaan hyvin soveltaa kuvassa 3.1 esitettyyn simulointiprojektin kulkuun. Kuvassa esitetyt vaiheet voidaan liittää sellaisinaan tai eriteltynä pienempiin osiin sekä vastuumatriisiin että Ganttin kaavioon.

3.3.2. Ongelman määrittely

Jokainen simulointiprosessi tulisi aloittaa ongelman määrittelyllä. Ongelman määrittelyä pidetään usein prosessin tärkeimpänä vaiheena. Tässä vaiheessa simuloinnin tilaaja ja simuloinnin tekijä käyvät keskusteluja siitä, mitä simuloinnilla pyritään ratkaisemaan ja mikä on simuloinnin tavoite. Mikäli simuloinnin tekijä määrittelee ongelman, on hyvin tärkeää, että simuloinnin tilaaja ymmärtää ja on samaa mieltä määrittelystä. Usein ongelma saattaa muuttua simulointiprosessin edetessä ja silloin on tärkeää, että ongelma määritellään uudestaan. Erityisen tärkeää on saada projektin tavoitteet kirjattua selkeästi ylös, sillä usein pelkissä keskusteluissa ilmenee runsaasti olettamuksia ja väärinkäsityksiä siitä, mitä simuloinnilla voidaan saada aikaan. Projektin loppuvaiheessa väärinkäsityksiä on hankalampi käydä läpi ja niistä voi aiheutua erimielisyyksiä tekijän ja tilaajan välille. Kirjaamalla asiat ylös varmistutaan siitä, että tilaaja ja tekijä puhuvat samaa kieltä ja ratkaistava ongelma on kummankin osapuolen tiedossa. (Banks 2005)

Simulointiohjelmistot antavat yleensä suuren määrän informaatiota mallinnettavasta järjestelmästä, joten on hyvä jo mallin suunnitteluvaiheessa olla selvillä siitä, mitkä tiedot ovat relevantteja ja mitä asioita tutkitaan. Todellisen järjestelmän tilannetta on harvoin järkevää mallintaa äärettömän tarkasti, koska usein pienet, mutta silti monimutkaiset toiminnot eivät vaikuta lopputulokseen ollenkaan. Tärkeä osa simulointia onkin, että pystytään erottamaan merkitsevät ja merkitsemättömät toiminnot toisistaan. (Banks 2005)

Ongelman määrittelyvaihetta seuraa usein alustavan projektisuunnitelman teko. Tässä vaiheessa simulointivaiheet aikataulutetaan ja sovitaan, milloin mikäkin vaihe on valmiina. Usein simuloinnin tekijä esittää, kuinka paljon resursseja simulointi vaatii ja kuinka kauan simulointi vie aikaa. (Banks 2005)

3.3.3. Mallin suunnittelu

Kun ongelma on määritelty, voidaan aloittaa mallin suunnittelu. Mallin rakentamiselle ei ole olemassa ohjenuoraa, joka ohjeistaa, miten voidaan rakentaa onnistunut malli järjestelmästä jokaisessa tapauksessa. Kuitenkin löytyy yleisiä ohjesääntöjä, joita voidaan käyttää suunnittelussa. (Banks 2005)

Simulointimallia suunnitellessa voidaan käyttää prosessikaavioita, joiden avulla pyritään kuvaamaan järjestelmän toimintaa riittävällä tarkkuudella. Prosessikaaviot kannattaa aluksi tehdä yksinkertaisiksi ja myöhemmin lisätä niihin toimintoja, jotta pystytään saavuttamaan tarvittava tarkkuus mallin kannalta. Mikäli tässä kohdassa lähdetään kuvaamaan asioita liian tarkasti, aiheuttaa se usein mallin rakentamiselle lisää kustannuksia. Kuten jo aiemminkin on todettu, ei mallin tarvitse olla äärettömän tarkka vaan tiettyjen toimintojen yksinkertaistaminen on järkevää. (Banks 2005)

3.3.4. Datan kerääminen

Mallia varten täytyy kerätä paikkaansa pitävää ja mahdollisimman tuoretta tietoa mallinnettavasti järjestelmästä ja sen ympäristöstä. Tiedon oikeellisuuteen täytyy kiinnittää huomiota ja tarkistaa sen paikkansa pitävyys. Datan kerääminen suoritetaan rinnakkain mallin suunnittelun kanssa. Mikäli malli monimutkaistuu, voi datalle asetetut vaatimukset muuttua, ja näin ollen dataa joudutaan keräämään uudestaan. Tiedon kerääminen on aikaa vievää, ja sen aloittaminen on tarpeellista aloittaa niin aikaisin kun mahdollista. Simuloinnin tavoitteet määrittelevät suurilta osin sen, millaista tietoa tarvitsee kerätä. (Banks 2005)

3.3.5. Mallin rakentaminen

Mallin rakentaminen voidaan aloittaa suunnittelun jälkeen, vaikka kaikkia lähtötietoja ei vielä olisikaan saatu kerättyä. Mallin tekijän tulee valita käytettävä ohjelmisto mallin rakentamista varten. Usein yksittäinen yritys käyttää jotain tiettyä tai joitakin tiettyjä ohjelmistoja mallin rakentamista varten, joten todellisuudessa mallin tekijällä ei ole mahdollisuuksia valita ohjelmistoa. Nykyajan simulointiohjelmistoilla mallin rakenta-

mista pidetään suhteellisen yksinkertaisena, mutta silti mallin rakentamisprosessille on syytä varata riittävästi aikaa.

Simulointiohjelmistoista löytyy erilaisia komponenttikirjastoja, ja tyypillisiä toimintoja voidaan hakea niistä suoraan malliin. Usein kuitenkin kaikkia toimintoja ei löydy suoraan, joten simuloijan täytyy ohjelmoida jotkut asiat käsin. Käsin ohjelmointi on aikaa vievää, ja simulointiohjelmisto usein rajaa vahvasti miten jokin tietty asia voidaan toteuttaa. Simulointiyritykset ovatkin usein valinneet itselleen simulointiohjelmistoja, jotka ovat kehitetty tietyn tyyppisten prosessien simulointiin. (Banks 2005)

3.3.6. Verifiointi

Verifioinnilla tarkastetaan mallin toiminta. Tarkoituksena on selvittää, toimiiko malli halutulla tavalla eli tekeekö käännetty ohjelmakoodi sen mitä pitääkin. Jos mallin sisääntuloparametrit ja looginen rakenne toimivat virheettömästi simulaattorissa, voidaan todeta ohjelman verifioinnin olevan valmis. Verifioinnin jälkeen voidaan siirtyä validointiin. (Banks 2005)

3.3.7. Validointi

Validoinnissa varmistetaan, että mallin suunnittelu on tehty oikein ja simulointimalli vastaa toiminnaltaan kuvattua järjestelmää. Validointi on usein iterointiprosessi, jossa vertaillaan mallin toimintaa todellisen järjestelmän käyttäytymiseen. Mallin ja todellisen järjestelmän eroavaisuuksia käytetään hyväksi mallin parantamiseksi. Iterointia toistetaan kunnes mallin tarkkuus on hyväksyttävä. (Banks 2005)

Luotettava validointitapa on kerätä todellisesta järjestelmästä dataa ja syöttää sitä simulointimalliin. Tämän jälkeen verrataan todellisen järjestelmän ja simulointimallin käyttäytymistä toisiinsa. Esimerkiksi lavausjärjestelmän mallia validoitaessa haetaan todellisen lavausjärjestelmän tietokannasta laatikoiden aikaleimat tietyistä pisteistä, ja näiden aikaleimojen mukaan synnytetään simulointimalliin laatikkovirtoja. Laatikkovirroista syntyvät lavat kirjataan lavauksen jälkeen tietokantaan. Mallissa lavojen luentapiste mallinnetaan samaan paikkaan kuin todellisessa järjestelmässä. Simulointiajon jälkeen voidaan todellisen järjestelmän ja mallin tietokantoja vertailla keskenään. Mikäli lavojen luentapisteiden aikaleimat ovat yhteneviä, voidaan todeta mallin toimivan oikein. Tällainen validointi onnistuu vain silloin, kun simuloitava järjestelmä on olemassa ja siitä on saatavilla tarvittavat tiedot. Usein validointia suoritetaan myös asiantuntijoiden avulla. Eri järjestelmien ja prosessien asiantuntijat voivat päätellä mallianimaatioista ja tuloksista mallin toimivuutta. (Banks 2005)

3.3.8. Tulosten analysointi

Simulointiajot ja tulosten tarkastelu työllistää projektiryhmää runsaasti. Usein on harhakäsitys, että pelkkä simulointimallin rakentaminen ja yhden testiajon suorittaminen riittää hyvin tulosten saamiseksi. Simulointiajojen jälkeen projektiryhmän tulisi kehittää muutoksia parametreihin ja mallin toimintaan. Tässä vaiheessa päätetään millaisia eri-

laisia vaihtoehtoja lähdetään kehittelemään. Toisaalta suuria muutoksia tehtäessä olisi hyvä, jos niitä olisi pystytty määrittelemään jo mallia tehtäessä. Tällöin simulointimalli on voitu valmistella muutoksia varten jo mallin tekovaiheessa, eikä muutoksien tekemiseen kulu kohtuuttoman paljon aikaa.

Simulointiajoja tehtäessä ja tuloksia analysoitaessa on hyvä ymmärtää, että malli ei kuvasta täydellistä todellisuutta ja malli sisältää satunnaisuuksia. Esimerkiksi ihmisen rooli simulointimallissa on hankala toteuttaa ilman satunnaisuuksia. Jotta mallista voidaan saada luotettavaa tietoa, täytyy malli ajaa riittävän monta kertaa läpi ja korjata epä johdonmukaisuuksia. Toisaalta jossain vaiheessa muutoksien tekeminen malliin ja uusi en ajojen ajaminen täytyy lopettaa, mikäli tarkkuus tai tulokset eivät enää merkittävästi parane. (Hartman 1999)

Simulointikokeella on yleensä kaksi päämäärää: vaihtoehtojen vertaaminen ja optimaalisen ratkaisun etsiminen. Vaihtoehtoja vertailtaessa vaihtoehtojen määrä pysyy yleensä pienenä. Tyypillisiä esimerkkejä ovat tuotannon läpimenon varmistaminen tai kahden eri layout-vaihtoehdon vertaileminen. Optimaalisen ratkaisun etsimisessä on yleensä olemassa parametreja, joiden arvoja muuttamalla päästään haluttuihin tavoitteisiin. Tällä menetelmällä ajokokeiden määrä kasvaa helposti suureksi, koska parametreja voi olla paljon ja niitä voidaan muutella lähes mielivaltaisesti. (Hartman 1999)

Saatuja tuloksia on analysoitava huolellisesti, jotta saadaan aikaiseksi oikeat johtopäätökset järjestelmän toiminnasta. Pää tavoite on tutkia, saadaanko halutut päämäärät saavutettua. Kun kokeet on suoritettu ja tulokset analysoitu, pyritään tulosten perusteella miettimään tarvittavat toimenpiteet järjestelmän kehittämiseksi. Jotta kehittämistoimenpiteet olisivat järkeviä ja kannattavia, tulee simulointihenkilöstön ja työn tilaajaan tehdä yhteistyötä koko projektin ajan. Hätiköidyiltä johtopäätöksiltä on välttyttävä ja kehitystoimenpiteitä on mietittävä laajalla skaalalla ajatellen kokonaisuutta. Tässä vaiheessa on hyvä kysyä mielipiteitä mahdollisimman monelta asiaan perehtyneeltä. Halvin ratkaisu ei useinkaan ole se paras vaihtoehto ja on muistettava, että simuloinnilla pyritään pelkästään avustamaan päätöksentekoa. (Banks 2005)

3.3.9. Dokumentointi

Jokaisesta simulointiprojektista pitäisi syntyä oheistuotteena kattava dokumentointi projektin vaiheista ja itse simulointiohjelmasta. Simulointiohjelman dokumentointi osoittautuu tärkeäksi etenkin silloin, jos ohjelmaa käytetään uudestaan eri simulointianalyytikon toimesta. Analyytikon pitää ymmärtää miten ohjelma toimii. Dokumentoinnin olemassaolo antaa ohjelman toiminnalle luottamusta ja näin ollen voidaan luottaa, että ohjelma toimii ja mallin perusteella voidaan tehdä päätöksiä. Myös silloin kun mallia halutaan muuttaa, joko saman tai jonkun toisen tekijän toimesta, dokumentointi helpottaa ja säästää aikaa. Ohjelman dokumentointi on myös tärkeää sen kannalta, että mallin käyttäjä pystyy ymmärtämään sisäänmenojen ja ulostulojen väliset suhteet, ja tätä kautta löytämään sisäänmenot, jotka optimoivat ulostuloja. (Banks 2005)

Koska simulointiprojekti on usein pitkä prosessi, on hyvä, että simuloinnin edistymistä kuvataan dokumentoinnissa. Tätä kautta pitkin prosessia voidaan pysähtyä kes-

kustelemaan projektin etenemisestä. Onkin huomattava, että projektissa on kannattavaa tehdä niin sanottuja välietappeja, eikä sopia pelkästään yhtä aikarajaa, johon mennessä kaiken pitää olla valmiina. Hyvästä dokumentaatiosta ulkopuolinen alan ammattilainen pystyy saamaan käsityksen projektista ilman, että hän perehtyy asiaan tuntikausia. (Banks 2005)

3.3.10. Implementointi

Simuloinnin voidaan katsoa onnistuneen, jos simuloinnin avulla löydetyt ratkaisut implementoidaan. Toisaalta, jos suunnitteilla on uusi järjestelmä, ja simulointi osoittaa, että suunniteltu järjestelmä ei toimi, on sekin hyvä tulos. Tällöin voidaan säästyä suurilta investoinneilta, jotka eivät ole toteutuskelpoisia.

Simulointiin turvauduttaessa on kyse usein isoista ja merkittävistä investoinneista. Tällöin yrityksen on pystyttävä luottamaan simulointimallin antamiin tuloksiin. Luottamus simulointimalliin syntyy yhteistyöstä simulointihenkilöstön ja tilaajan välillä. Onkin suositeltavaa, että simulointihenkilöstö on mukana, kun järjestelmää implementoidaan. Usein kaikkia simuloinnissa toteutettuja vaihtoehtoja ei pystytä toteuttamaan kuten mallissa. Tästä syystä on tärkeää, että simulointihenkilöstöä konsultoidaan, kun mietitään eri toteutusvaihtoehtoja, jotka poikkeavat simulointimallista. Tässäkin vaiheessa vaihtoehtoja voidaan vielä simuloida. (Banks 2005)

3.4. Simulointiohjelmistot

Tietokoneavusteinen simulointi voi olla joko puhtaasti matemaattista tai 2D/3D- (kaksi- tai kolmiulotteista) grafiikkaa sisältävää, animaatiota tuottavaa simulointia. Tämä työ keskittyy käytännössä pelkästään graafiseen simulointiin. Seuraavaksi esitellään kaksi 3D-simulointiohjelmistoa, joiden vahvuutena on kappaletavara-automaation mallintaminen ja simulointi.

3.4.1. AutoMod

AutoMod-simulointiohjelmisto keskittyy lähinnä tuotannon valmistusprosesseihin ja materiaalin hallintajärjestelmiin. Ohjelmiston vahvuutena voidaan pitää yksityiskohtaisia ja suuria malleja, joita voidaan käyttää suunnittelussa, päätöksenteon apuna ja ohjausjärjestelmien testauksessa.

AutoMod:ssa on sisäänrakennettuja lomakkeita (templates) useimmille materiaalin käsittelyjärjestelmille sisältäen esimerkiksi kulkuvälineitä, kuljettimia, automaattivarastoja, nostureita ja kinemaattisia järjestelmiä. Ohjelma sisältää myös kommunikaatiolohkon, joka mahdollistaa mallien kommunikoinnin säätöjärjestelmien kanssa. (Banks 2005)

Kaikki liikkumiseen tarkoitetut mallit perustuvat 3D- piirtämiseen, jotka on joko itse piirretty tai siirretty toisesta suunnittelu ympäristöstä. Jokainen komponentti mallissa on hyvin yksityiskohtainen. Esimerkiksi kuljetinmallit sisältävät kuljetinpätkiä, moottorei-

ta, jotka pyörittävät kyseisiä kuljetinpätkiä, asemia joko lastausta tai poistoa varten ja valokennoja. Eri kuljetinpätkät tai -osiot määritellään pituuden, leveyden, nopeuden, kiihtyvyyden, tyytin (akkumuloiva tai ei akkumuloiva) ja muiden parametrien perusteella. (Banks 2005)

AutoMod-ohjelmisto sisältää täyden simulointiohjelmointikielen. AutoMod:ssa malli koostuu yhdestä tai useammasta järjestelmästä. Järjestelmä voi olla niin sanottu prosessijärjestelmä, jossa virtaus- ja ohjauslogiikka määritellään tai liikehdintäjärjestelmä, joka perustuu materiaalinhallintalomakkeisiin (templates). Mallit voivat sisältää lukemattomia määriä järjestelmiä, joita voidaan tallentaa ja käyttää uudestaan myös toisissa malleissa. Prosessijärjestelmät voivat olla yksinkertaisia logiikaltaan tai hyvinkin monimutkaisia, mikäli se on simuloinnin kannalta tärkeää. 3D-animaatio voidaan katsoa mistä kulmasta tahansa joko normaalin kellon mukaan tai nopeutetusti. (Banks 2005)

AutoMod:ssa käsittely-yksiköt (loads) liikkuvat prosessista prosessiin ja kuormittavat resursseja (koneita, operaattoreita, jonoja ym.). Käsittely-yksikkö on aktiivinen itsenäinen kokonaisuus, joka suorittaa tehtäviä jokaisessa prosessissa. Kun käsittely-yksikköä liikutetaan kuljettimella, yksikön tiedot ja attribuutit kulkeutuvat tuotteen mukana kuljettimella. Näiden attribuuttien avulla voidaan kerätä tietoa simulaattorista. Käsittely-yksikkö voidaan lähettää seuraavaan prosessiin joko suoraan tai käyttämällä kuljettimia tai kulkuneuvoja siirron toteuttamiseksi. (Banks 2005)

3.4.2. Quest

QUEST eli Queuing Event Simulation Tool on valmistusorientoitunut simulaatio-ohjelmisto. Ohjelmiston oliopohjainen rakenne mahdollistaa sellaisten komponenttiluokkien käytön, joissa ominaisuudet periytyvät. Näitä komponentteja on QUEST:ssa valmiina useita ja komponentteja on mahdollista rakentaa itse lisää. Kun komponenttikirjastossa on valmiina useita komponentteja, layout-suunnittelu helpottuu huomattavasti. Tässä yhteydessä layout-suunnittelulla tarkoitetaan tilojen ideointia käyttöä varten. QUEST-ohjelmisto sisältää 3D CAD-suunnittelu-, layout-, kinematiikka- ja raportointityökalut ja siihen voi tuoda CAD-kuvia muista suunnitteluympäristöistä.

QUEST:ia käytetään tehtaan ja uusien tuotantojärjestelmien layout-suunnitteluun, tuotannon tunnuslukujen simulointiin ja analysointiin. Ohjelmistolla pystytään suunnittelemaan tuotantoa ja testaamaan sitä. Tuloksia voidaan analysoida numeerisesti taulukojen ja kuvaajien avulla. Tilastollisia tuloksia voidaan tulkita joko QUEST:n omalla graafisella käyttöliittymällä tai ne voidaan tuoda ulos ohjelmasta HTML-muodossa. Tuloksia voidaan analysoida myös visuaalisesti pyörittämällä mallia 3D-ympäristössä. Mallin katselukulmat ovat vapaasti valittavissa ja myös niin sanotusti karpäsenä lentäminen järjestelmän yläpuolella on mahdollista. (Banks 2005)

Kun valmiit komponentit eivät riitä mallinnukseen, QUEST tarjoaa SCL (Simulation Control Language) -ohjelmointikielen, jossa on piirteitä useista eri ohjelmointikielistä. QUEST:ssä on oma tekstieditori, jolla koodi voidaan kirjoittaa. Koodin kirjoittamiseen käy toki mikä tahansa tekstieditori. SCL sisältää kaikki ohjauskomennot, johon

voidaan liittää myös käyttöliittymän painikkeita vastaavia BCL (Batch Control Language) -komentoja. (Banks 2005)

4. LAVAUSJÄRJESTELMÄN KUVAUS

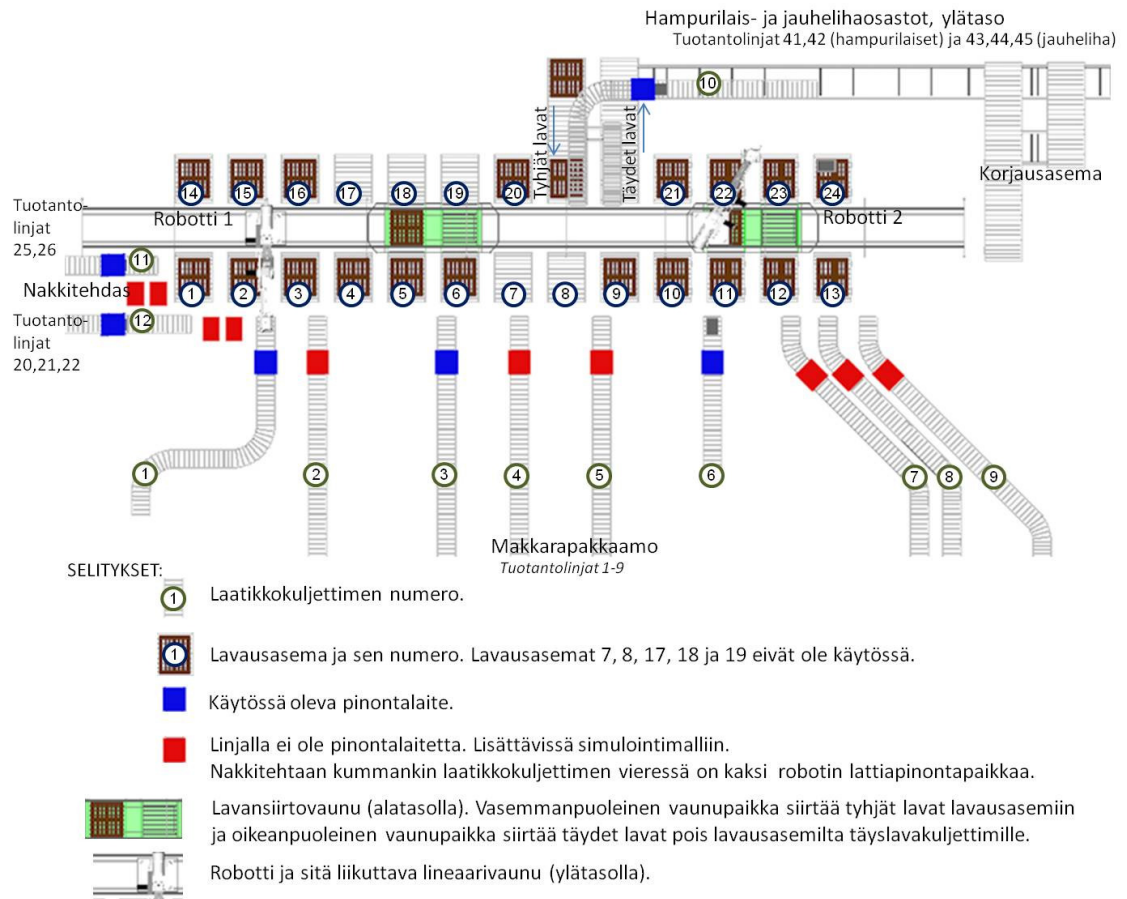
Tässä kappaleessa tarkastellaan HK Ruokatalon nykyistä ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevaa lavausjärjestelmää. Järjestelmän on toimittanut Orfer Oy vuonna 2007. Toimitus on ollut kolmivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa aikaisempi järjestelmä purettiin, ja sen tilalle rakennettiin robottilavausjärjestelmä. Lisäksi ensimmäisessä vaiheessa järjestelmään liitettiin makkarapakkaamon linjastot. Toisessa vaiheessa järjestelmään liitettiin nakkitehtaan linjastot. Kolmas vaihe piti sisällään jauheliha- ja hampurilaislinjojen liittämisen järjestelmään.

4.1. Lavausjärjestelmän toiminta

Lavausjärjestelmän toiminta koostuu monista eri toiminnoista. Järjestelmän päätehtävänä on lavata siihen saapuvat laatikkokuormat. Lavaustoiminto tapahtuu kahdella nivel-robotilla, jotka liikkuvat lineaariradoilla. Robotit poimivat joko valmiita laatikkopinoja linjoilta, joilla on pinontalaitteet tai pinoavat yksittäin tulevat laatikot ja vievät valmiin pinon lavalle. Lavausjärjestelmää kuormittaa yhteensä 18 tuotantolinjaa. Kummallekin robotille on määritelty omat lavausasemat ja tuotantolinjat, joilta robotit suorittavat lavausta. Kun lava on täysi (25 laatikkoa), robotti antaa logiikan kautta siirtovaunulle luvan noutaa täyden lavan pois. Samalla siirtovaunu tuo tyhjän lavan tilalle, jonka jälkeen lavaus voi jatkua kyseisellä lavausasemalla.

Tuotantoajon lopetus tuotteelle tehdään linjakohtaisilta paneeleilta tai PC:ltä. Kun lopetus on suoritettu, robotti vie erän viimeiset laatikot lavalle. Tämän jälkeen siirtovaunu hakee lavan pois. Kun viimeiset laatikot ovat poistuneet linjalta ja linjan kuljetimet ovat pysähtyneet, voidaan linjalla aloittaa uuden tuotteen valmistaminen.

Siirtovaunu vie valmiin lavan täyslavalakuljettimelle, josta lava siirtyy etiketöintiin. Etiketöinnissä jokaiseen lavaan tulostetaan kaksi lavalappua aloituksessa annettujen tietojen ja viivakoodilukijoiden lukemien laatikkokoodien perusteella. Jos lavalappujen tulostuksessa on ongelmia, ohjataan lava korjausasemaan, jossa siihen voidaan tulostaa uudet lavalaput. Asianmukaisilla lavalapuilla varustetut lavat ajetaan lavakuorman kalibrointiin, jossa lavalla olevat laatikkopinot keskitetään ennen sitomista vannekoneella. Tämän toimenpiteen jälkeen lava lähtee kohti lähettämöä. Kuvassa 4.1 on esitetty järjestelmän layout-kuva. Kuvasta nähdään laitteiden ja laatikkokuljettimien sijainnit. Kappaleessa 4.3 kuvataan jokaisen laitteen toimintaa tarkemmin ja kerrotaan, kuinka kyseinen laite liittyy järjestelmään.



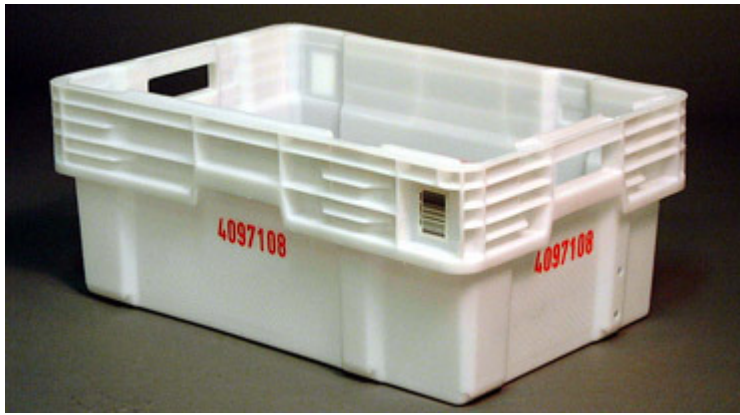
Kuva 4.1. Lavausjärjestelmän layout-kuva.

4.2. Järjestelmän käsittely-yksiköt

Lavausjärjestelmässä käsitellään Transbox-lihalaatikoita ja FIN-lavoja. Pakkauslinjoilta tulevat laatikot sisältävät linjasta riippuen tietynlaisia tuotteita tietyn verran. Jokaisessa laatikossa on viivakoodi, josta se voidaan tunnistaa ja jäljittää. Laatikon mitat ovat seuraavat:

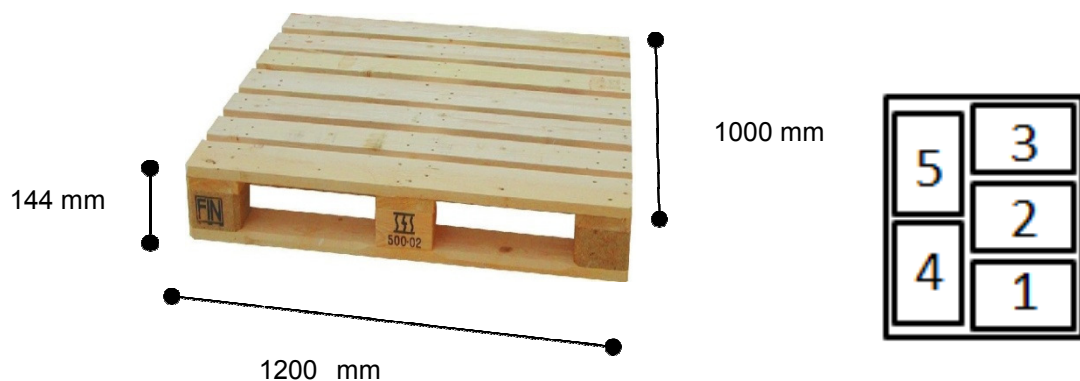
- 600x400x255 (ulkomitat).
- Laatikon paino 2,77 kg.
- Normaali laatikon kuormitus 25 kg.

Kuvassa 4.2 on esitetty Transbox-lihalaatikko.



Kuva 4.2. *Transbox-lihalaatikko. (Transbox 2011)*

Lavausjärjestelmän toinen käsittely-yksikkö on siis FIN-lava. Lavoja käsitellään tyhjinä ja täysinä. Täydessä lavassa on 25 laatikkoa, yhteensä viisi viiden laatikon pinoa. Kuvassa 4.3 on esitetty lavan mitat ja lavakuvio, jonka mukaisessa järjestyksessä laatikkopinot viedään lavalle.



Kuva 4.3. *Lavan mitat ja lavakuvio.*

4.3. Järjestelmän laitteet

4.3.1. Viivakoodin luenta

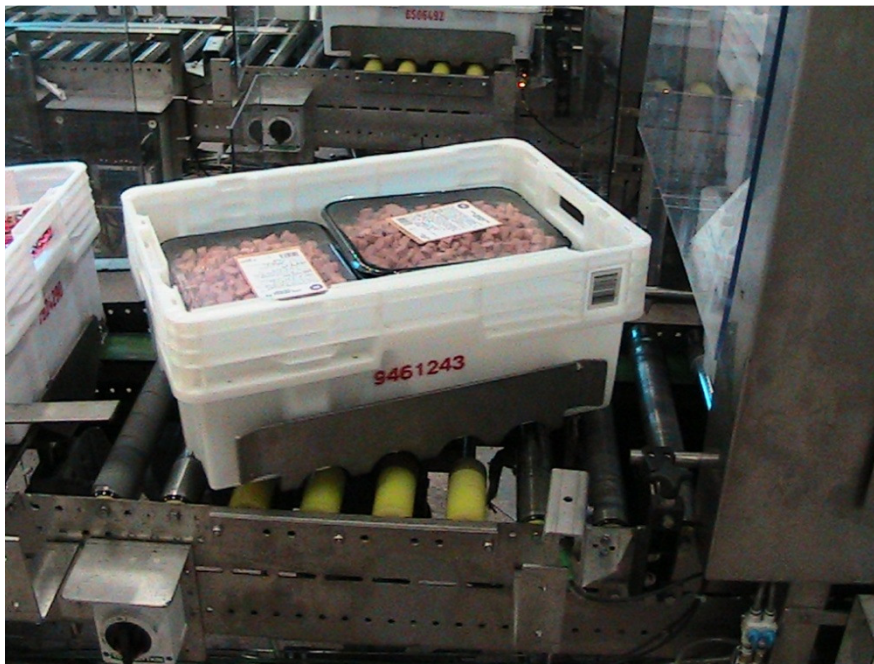
Pakkauskoneilta järjestelmään saapuvat laatikot tunnistetaan SICK Oy:n toimittamilla viivakoodin lukulaitteilla. Jokaisen laatikon viivakoodi luetaan laser-lukulaitteella loogiikkaan, josta se edelleen siirretään Firebird-tietokantaan erillisellä ohjelmalla. Näin voidaan tunnistaa jokainen laatikko ennen kuin se saapuu järjestelmään. Jos laatikkonumeron luenta ei onnistu, laatikkoa ei päästetä järjestelmään. Tunnistamaton laatikko kirjataan käsin tietokantaan ja hälytys kuitataan ennen kuin laatikko voi jatkaa matkaansa. Viivakoodin mukana järjestelmään siirtyy useita tietoja laatikon sisällöstä, esimerkiksi tuotteen nimiketiedot, määrä ja paino luetaan tietokantaan.

Kun järjestelmä on lavannut laatikot lavalle ja lava siirretään kohti lähettämöä, luetaan lavan tiedot tietokantaan. Tässä kohtaa lavan tiedot siirretään SAP-järjestelmään ja

lavalle muodostetaan osoite korkeavarastossa. Myöhemmin tässä kappaleessa käsitellään lisää tiedonsiirtoa eri järjestelmien välillä.

4.3.2. Laatikon kääntöpöytä

Viivakoodin luennan jälkeen laatikot siirtyvät kääntöpöydälle. Laatikot voidaan pinota päällekkäin siten, että joka toinen laatikko on toisinpäin. Kääntöpöydällä laatikon suunta tunnistetaan ja tarvittaessa käännetään. Pääsääntöisesti pakkaussoluilta tai käsinpakkausasteilta laatikot tulevat aina samoin päin. Tämä tarkoittaa sitä, että periaatteessa joka toinen laatikko täytyy kääntää. Tässä järjestelmässä on kahdenlaisia kääntöpöytiä. Jauhelihaosastolta saapuvat laatikot käännetään pöydällä, jossa laatikkoon tartutaan ylhäältäpäin. Tämä mahdollistaa laatikon nopeamman kääntämisen. Muissa linjoissa on kääntöpöydät, joissa laatikkoihin tartutaan alhaaltapäin. Kuvassa 4.4 on kuva kääntöpöydästä, jossa laatikkoa käsitellään parhaillaan. Kuvan kääntöpöydässä laatikkoon tartutaan alakautta.



Kuva 4.4. *Laatikon kääntöpöytä.*

4.3.3. Pinontalaitteet

Ennen robottien ottopaikkoja sijaitsee osassa kuljettimista pinontalaite. Pinontalaitteella pinotaan viiden laatikon pinoja robottia varten. Mikäli kuljettimella ei ole pinontalaitetta, robotti joutuu pinoamaan laatikot. Tämä pinonta kuormittaa robottia huomattavasti enemmän, kun verrataan linjoihin, jossa robotti vie lavalle viiden laatikon pinoja. Tässä järjestelmässä on kahdenlaisia pinontalaitteita. Jauheliha- ja hampurilaislinjoilta saapuvien laatikoiden kuljettimella on tehokkaampi pinoaja, jolla laatikoiden pinonta on hieman nopeampaa kuin muilla järjestelmän pinontalaitteilla. Muita pinontalaitteita on yhteensä viisi kappaletta. Nämä pinontalaitteet on liitetty järjestelmään alkuperäisen

asennuksen aikana. Kuvassa 4.5 on esitetty kuva alkuperäisestä pinontalaitteesta. Kuvassa 4.6 on esitetty jauheliha- ja hampurilaislinjojen pinontalaite.



Kuva 4.5. *Laatikoiden pinontalaite.*



Kuva 4.6. *Jauheliha- ja hampurilaislinjojen pinontalaite.*

4.3.4. Laatikkokuljettimet makkarapakkaamon linjoille

Linjojen 1-9 laatikkokuljettimet ovat hyvin samanlaisia keskenään. Näille kuljettimille tulevat laatikkovirratt syntyvät pääasiassa makkarapakkaamon tuotteista. Poikkeuksena on kuljetin 9, jossa liikutellaan suurkeittiöihin tarkoitettuja 3 kg:n pakkauksia.

Laatikkokuljettimien tehtävänä on siirtää pakatut laatikot robottien ottopaikoille. Kuten on aiemmin todettu, on jokaisella linjalla viivakoodin luentapiste, laatikon suunnan tarkistus sekä kääntöpöytä, jossa laatikko tarvittaessa käännetään. Lisäksi linjoilla 1, 3 ja 6 on pinontalaitteet nopeamman läpimenon saavuttamiseksi.

Jokaisen kuljettimen korkeus on 700 millimetriä. Kuljettimet ovat tyypiltään rullakuljettimia. Kuljettimista löytyy ohjauskaiteet, jotka pitävät laatikon kuljettimella. Kuljettimet pyörivät sähkölaitekäyttöjen avulla siten, että vetävät hihnat ovat kuljettimen reunalla ja pyörittävät kuorman alla olevia rullia.

4.3.5. Laatikkokuljettimet nakkitehtaan pakkauslinjoille

Nakkitehtaassa on yhteensä viisi pakkauslinjaa. Linjat 20,21 ja 22 sijaitsevat ensimmäisessä kerroksessa ja linjat 25 ja 26 sijaitsevat alakerrassa. Aiemmin mainitut linjat yhdistetään omalle kuljettimelleen (kuljetin 11) ja jälkimmäisenä mainitut yhdistetään omalle kuljettimelleen (kuljetin 12). Toisin sanoen lavausroboteille laatikkokuormaa tulee yhteensä kahdelta kuljettimelta.

Nakkitehtaan kuljettimet ovat samanlaisia tyypiltään kuin linjojen 1-9 kuljettimet ja niissä on myös viivakoodin luentapiste, suunnan tunnistuspiste ja kääntöpöytä. Linjojen 25 ja 26 laatikot tuodaan ensimmäiseen kerrokseen pystykuljettimella. Kummankin kuljettimen päässä on pinontalaite, mutta ainoastaan yhden pakkauslinjan laatikoita voidaan pinota kerrallaan ja laatikoita pinoava linja valitaan käyttöliittymästä ennen tuotannon aloittamista. Linjat, joiden laatikoita ei pinota pinontalaitteella, pinotaan lavausroboteilla siten, että lavaussolussa on lattiapinontapaikka näitä laatikoita varten. Tässä työssä lattiapinontapaikalla tarkoitetaan pinontapaikkaa, johon robotti pinoaa nakkitehtaan laatikoita, joita ei voida pinota pinontalaitteella. Käytännössä tilanne on usein se, että alakerran tuotantolinjoista vain toinen on käytössä kerrallaan, mutta käyttäjät eivät välttämättä muista käydä vaihtamassa pinottavien laatikoiden linjaa käyttöliittymästä. Tällöin toinen roboteista joutuu tekemään turhaan ylimääräistä pinontatyötä.

4.3.6. Laatikkokuljettimet jauhelihan ja hampurilaisen pakkauslinjoille

Hampurilaisten pakkauslinjoja on yhteensä kaksi kappaletta (linjat 41 ja 42). Toisesta syntyy lopputuotteena perinteisiä hampurilaisia, ja toisesta niin sanottuja erikoishampurilaisia, kana- ja juustohampurilaisia. Jauhelihan pakkauslinjoja on yhteensä neljä kappaletta, joista lavaamossa on mahdollista lavata kolmea (linjat 43,44 ja 45). Työn aikana kuitenkin pakkauslinja 44 poistettiin käytöstä. Nämä pakkauslinjat sijaitsevat fyysisesti suhteellisen kaukana lavausjärjestelmästä ja kuljettimet pakkauslinjoilta lavausjärjestelmään on rakennettu katonrajaan. Kaikki näiltä pakkauslinjoilta tulevat laatikot yhdis-

tetään kulkemaan yhtä kuljetinta pitkin kohti lavausta. Tätä kuljetinta kutsutaan tässä työssä kuljettimeksi 10.

Pakkauslinjoilta tulevat laatikkovirrat ovat ohjattu tulemaan viiden laatikon jonoissa lavaamoon. Linjoilla akkumuloidaan viiden laatikon pituinen jono, joka lähetetään lavaamoon siten, että laatikkoryhmän väliin ei pääse laatikoita muista pakkauslinjoista. Tällä toimenpiteellä koko laatikkovirta pystytään pinoamaan yhdellä pinontalaitteella lavausjärjestelmän läheisyydessä. Pinontalaitteen jälkeen kuljetin jakautuu kahdeksi kuljettimeksi, jolloin laatikkokuorma voidaan jakaa kahdelle robotille. Nämä robotin ottopaikat ja kuljettimet sijaitsevat korkeammalla kuin muiden linjojen ottopaikat ja kuljettimet. Muuten kuljettimet ovat samanlaisia kuin aiemmin esitetyt.

4.3.7. Lavausasemat

Lavausasemat sijaitsevat lavaussolun sisäpuolella ja niitä on yhteensä 24 kappaletta, joista viisi ei ole käytössä tällä hetkellä. Asemat on sijoitettu robottien molemmin puolin siten, että toisella puolella lineaarirataa on 13 asemapaikkaa (makkarapakkaamon puoli) ja toisella puolella 11 paikkaa. Kuvasta 4.1 selviää lavapaikkojen tarkat sijainnit. Jokaiselle tuotannon pakkauslinjalle on määritelty oma lavausasemansa, johon robotit siirtävät viiden laatikon pinoja. Jokainen lavausasema on varustettu rullakuljettimella, jossa on veto hihnalta hihnalle. Näin valmis 25 laatikon lava voidaan siirtää siirtovaunulle, ja siirtovaunulta saadaan uusi tyhjä lava uusia tuotteita varten.

4.3.8. Siirtovaunut

Siirtovaunujen tehtävänä on siirtää lavatut lavat täyslavakuljettimille ja tuoda uudet tyhjat lavat lavausasemille. Tässä järjestelmässä siirtovaunuja on kaksi kappaletta. Toinen vaunuista palvelee lavausasemia 1-6, 14-16 ja 20 ja toinen lavausasemia 9-13 ja 21-24. Vaunut ovat keskenään samanlaisia. Kummassakin vaunussa on kaksi lavapaikkaa, yksi tyhjää lavaa varten ja yksi täyttää lavaa varten. Vaunut liikkuvat uretaanipintaisilla kulkupyörillä, jotka ovat kiinnitetty kiskoihin. Fyysisesti vaunut sijaitsevat lineaariradan ja robottien alapuolella liikkuen lineaarisesti samansuuntaisesti kuin robotitkin. Lavojen siirtämiseksi vaunujen lavapaikat on varustettu säätönopeuskäyttöisillä rullakuljettimillä.

Siirtovaunun paikkaa mitataan SICK DME4000 -laseretäisyysanturilla, joka antaa vaunun paikasta tiedon millimetreissä. Lisäksi lineaariradalta löytyy valokennoja, joiden avulla varmistutaan siitä, että vaunu on oikean lavausaseman kohdalla. Kun lavaa siirretään siirtovaunuun, täytyy siirtovaunussa olevien valokennojen aktivoitua, jotta tiedetään lavan varmasti olevan kyydissä. Näitä valokennoja löytyy vaunusta kaksi kappaletta.

Siirtovaunut skannaavat täysiä lavoja numerojärjestyksessä. Toisin sanoen vaunujen ohjaukseen ei ole liitetty mitään aikapriorisointeja. Siirtovaunun paikat on tallennettu taulukkoon, josta paikkaohje haetaan indeksillä. Kun vaunu saa ajotehtävän, siirretään ohjearvo vaunun ajo-ohjelmalle. Kun vaunu saapuu ajo-ohjelmassa määritettyyn offset-

paikkaan, vaunu on perillä. Ensiksi poimitaan täysi lava kyytiin ja sen jälkeen vaunun toisella lavapaikalla oleva tyhjälava siirretään lavausasemalle. Tämän jälkeen täysi lava viedään kohti täyslavakuljetinta ja syötetään pois vaunulta. Samanaikaisesti uusi tyhjä lava siirretään vaunun toiselle lavapaikalle. Lopuksi mikäli uutta tehtävää ei ole tiedossa, siirtovaunu palaa kotiasemaansa. Vasta kun tehtävää suorittava siirtovaunu on palannut kotiasemaansa, voi toinen siirtovaunu aloittaa tehtävänsä. Toisin sanoen siirtovaunut eivät voi liikkua yhtä aikaa. Siirtovaunujen kotiasemien sijainti näkyy kuvassa 4.1. Kuvassa 4.7 on esitetty siirtovaunu suorittamassa tehtävää. Kuvan tilanteessa vaunussa on kyydissä täysi lava, ja vaunu on juuri siirtänyt tyhjän lavan täyden lavan tilalle.



Kuva 4.7. *Lavojen siirtovaunu kiskolla.*

4.3.9. Lavausrobotit

Lavausjärjestelmän lavaustoiminnon suorittaa kaksi Kawasaki ZD 250 S -nivelerobottia, joissa on neljä kiertyvää niveltä. Kummatkin robotit on sijoitettu lineaarivaunuille, jotka pystyvät liikkumaan lineaarisesti lava-asemien välissä. Kummallekin robotille on määritetty omat työalueensa ja ottopaikkansa. Tällä hetkellä roboteilla ei ole yhteisiä ottopaikkoja, mikä varmistaa, että robotit eivät törmää toisiinsa. Taulukosta 4.1 nähdään robotin 1 tuotantolinjoja vastaavat lavausasemat ja kuljettimet. Taulukossa 4.2 on esitetty samat asiat robotille 2.

Taulukko 4.1. Robotin 1 tuotantolinjat, lavausasemat ja laatikkokuljettimet.

| Tuotantolinja | Lavausasema | Laatikkokuljetin |
|---------------|-------------|------------------|
| 1 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 2 |
| 3 | 5 | 3 |
| 4 | 6 | 4 |
| 20 | 14 | 12 |
| 21 | 2 | 12 |
| 22 | 1 | 12 |
| 25 | 16 | 11 |
| 26 | 15 | 11 |
| 42 | 20 | 10* |

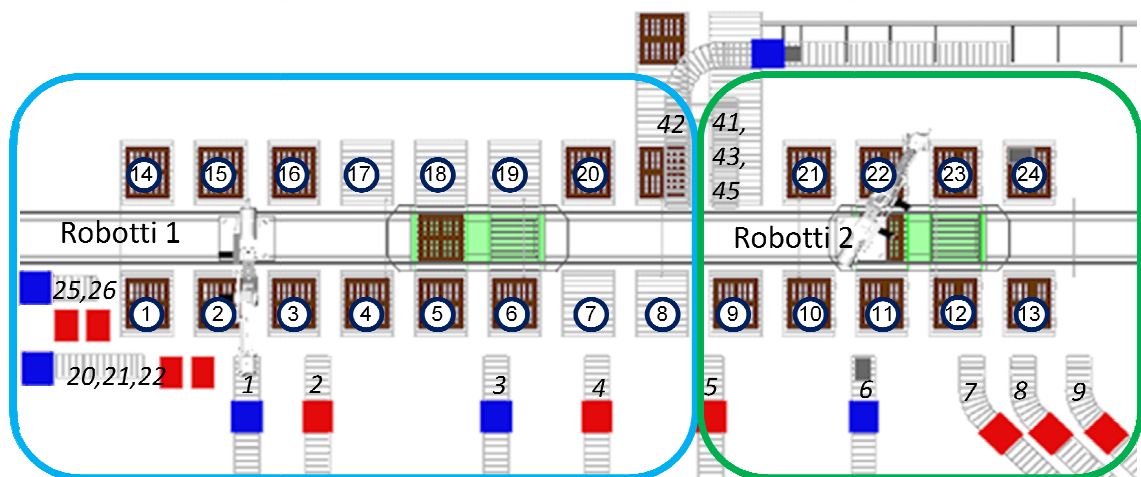
* Laatikkokuljetin 10 jakautuu pinontalaitteen jälkeen kahdeksi laatikkokuljettimeksi. Robotti 1:n puoleiselle laatikkokuljettimelle ohjataan tuotantolinjalta 42 tulevat laatikkopinot.

Taulukko 4.2. Robotin 2 tuotantolinjat, lavausasemat ja laatikkokuljettimet.

| Tuotantolinja | Lavausasema | Laatikkokuljetin |
|---------------|-------------|------------------|
| 5 | 9 | 5 |
| 6 | 10 | 6 |
| 7 | 11 | 7 |
| 8 | 12 | 8 |
| 9 | 13 | 9 |
| 41 | 24 | 10* |
| 43 | 21 | 10* |
| 45 | 22 | 10* |

* Laatikkokuljetin 10 jakautuu pinontalaitteen jälkeen kahdeksi laatikkokuljettimeksi. Robotti 2:n puoleiselle laatikkokuljettimelle ohjataan tuotantolinjoilta 41, 43 ja 45 tulevat laatikkopinot.

Lisäksi kuvassa 4.8 on esitetty robottien työalueet. Sinisen värin sisään jäävä alue on robotin 1 työaluetta ja vastaavasti vihreän värin sisältö on robotin 2 työaluetta.

**Kuva 4.8.** Robottien työalueet.

Lavausrobottien kuormankantokyky on 250 kg. Laatikkopinojen massa on noin 125 kg, joten robottien kuormankantokyky on riittävä. Robotit pystyvät säätämään nopeuttaan automaattisesti kapasiteettitarpeen mukaan, mutta työn aikana tämä toiminto ei ollut käytössä, vaan robotit oli ohjelmoitu liikkumaan maksiminopeudella. Robottien tehtävänä on kerätä tarttujaan viiden laatikon pino ja viedä se ottopaikkaa vastaavalle lavausasemalle tai viedä viiden laatikon pino lavausasemalle, jos kuljettimella on pinontalaite. Nakin pakkauslinjoilta tulevat laatikot, joita ei pinota etukäteen, pinotaan robotilla erillisillä lattiapinontapaikoilla. Linjoilla, joissa on pinontalaitteet, robotti saa laatikkopinosta signaalin valosilmästä, joka sijaitsee ottopaikalla. Muilla linjoilla robotti aloittaa pinoamisen, kun kuljettimen viivakoodinlukija on tunnistanut viisi laatikkoa jonoon ottopaikalle. Robotit skannaavat ottopaikkojen signaaleja numerojärjestyksessä normaalitilanteessa. Normaalitilanteen lisäksi robotti voi saada ruuhkasignaaleita, jolloin robotti priorisoi tiettyjä linjoja.

Lineaarivaunuille on myös ohjelmoitu koordinaattipisteitä, joista robotti poimii laatikot ottopaikoilta tai vie laatikkopinon lavausasemalle. Ottopaikkoja vastaavia koordinaatteja on vain yksi yhtä ottopaikkaa kohden. Sen sijaan robotin viedessä laatikkopinoa lavalle lineaariradan koordinaattipisteet lasketaan joka kerta uudestaan tiettyjen sääntöjen puitteissa. Niitä sääntöjä ei kuitenkaan esitetä tässä diplomityössä laskennan monimutkaisuuden vuoksi. Asioiden havainnollistamiseksi kuvassa 4.9 on esitetty lavausrobotti lineaariradalla.



Kuva 4.9. Lavausrobotti lineaariradalla.

4.3.10. Lavausrobottien ruuhkasignaalit

Roboteille on määritelty ruuhkasignaaleita. Tällä tavoin robotti voi priorisoida tiettyjä linjoja, jotta välttyään pakkauskoneen pysäytyksiltä. Ruuhkarajat vaikuttavat eri linjoilla seuraavasti:

- Makkarapakkaamon linjat
 - Ruuhkaraja vaikuttaa kääntöpöydällä, mikäli laatikko ei pääse jatkamaan matkaa.
 - Ruuhkarajaa ei käytetä linjoilla 2,3 ja 4.
- Jauheliha- ja hampurilaislinjat
 - Ottopaikkaa edeltävä pinopaikka on varattu.
 - Pinontalaite on ruuhkautunut, pino ei pääse jatkamaan matkaa eteenpäin.
- Nakkitehtaan linjat
 - Jos tuote-erä lopetetaan kyseisellä linjalla, saa robotti ruuhkasignaalin.
 - Ruuhkaraja vaikuttaa kääntöpöydällä, jos laatikko ei liiku 15 sekuntiin.
 - Pinontalaitteelta laatikko ei pääse jatkamaan matkaansa.

4.3.11. Lavausrobottien ohjaussäännöt

Kummallekin robotille on määritelty omat ohjaussääntönsä. Normaalitilanteessa robotit skannaavat ottopaikkoja tuotantolinjojen mukaisessa numerojärjestyksessä. Skannausjärjestys kuitenkin muuttuu, mikäli joku aiemmin esitetyistä ruuhkasignaaleista vaikuttaa, jolloin robotti priorisoi kyseistä linjaa. Myös tuotantolinjojen tehokkuus on huomioitu ohjaussäännöissä. Esimerkiksi robotti 2:n tapauksessa linjalla 6 on korkein prioriteetti. Mikäli linjan 6 ruuhkaraja vaikuttaa, se ohittaa muut linjat lavausjärjestyksessä, vaikka muidenkin linjojen ruuhkarajat olisivat vaikuttuneina. Näitä prioriteetteja on määritelty sitä varten, että välttyttäisiin tuotantolinjojen pysäytyksiltä, kun tuotannon valmistusmäärät ovat suuria.

4.3.12. Lavausrobotin tarttuja

Kummallakin robotilla on samanlainen tartuntalaite. Tartuntalaitteet tarttuvat mekaanisesti laatikoiden lyhyempiin sivuihin ja ovat muotosulkeisia tyypeiltään. Tarttujaan voidaan kerätä maksimissaan viisi laatikkoa. Lisäksi tarttujiin on liitetty pneumaattinen törmäyssuoja. Kuvassa 4.10 on esitetty robotin tarttuja.



Kuva 4.10. Robotin tarttuja.

4.3.13. Täysien lavojen liikenne

Kun siirtovaunu on siirtänyt täyden lavan täyslavakuljettimelle, varustetaan lava kahdella samanlaisella lavalapulla. Järjestelmän PC muodostaa laatikkotiedoista lavalapun ja lähettää sen kirjoittimelle. Kun lava on varustettu lavalapuilla, viivakoodinlukija tarkistaa lappujen kunnollisuuden. Mikäli lavalaput eivät ole luettavissa, ohjataan lava kohti korjausasemaa. Muuten lava siirtyy kohti vannekonetta, jossa lavan laatikot ensin kalibroidaan, ja sen jälkeen lavan ympärille sidotaan vanne. Sidontakorkeus määräytyy lavalalla olevien laatikoiden korkeudesta. Normaalisti vanne sidotaan kolmannelle kerrokselle. Mikäli laatikkokerroksia on vähemmän, sidonta tehdään ensimmäiselle ehjälle kerrokselle. Jos laatikoita on alle viisi kappaletta, lavaa ei sidota.

Korjattava lava otetaan siis korjausasemaan. Uusien lavalappujen tiedot muodostetaan lukemalla yhden laatikon tiedot käsiskannerilla. Korjausaseman PC:ltä saadaan uudet lavalaput, jotka liimataan lavaan käsin. Tämän jälkeen lava on valmis siirrettäväksi vannekoneelle. Myös valmistuserän viimeiset lavat ajetaan korjausasemalle, jotta käyttäjä pystyy tasaamaan laatikot lavalla. Eli jos viimeisellä lavalla on vain kaksi viiden laatikon pinoa, käyttäjä muodostaa laatikoista kaksi kerrosta ja lähettää sen kohti lähettämöä.

Kuten aiemminkin on todettu, voidaan korjausasemalta syöttää järjestelmään täysiiä lavoja, joita lavausjärjestelmä ei palvele. Esimerkiksi valmisruokaosaston täydet lavat syötetään lähettämöön tätä kautta. Tällöin tuotetiedot syötetään PC:lle, laatikoiden numerot skannataan lavasta ja lava kirjataan valmistuneeksi. Lopuksi tulostetut lavalaput liimataan lavaan ja lava lähetetään liikenteeseen.

Lavoja liikuttavia kuljettimia on kahdentyypisiä. Lava liikutetaan siirtovaunulta etiketöinnin kautta risteykseen rullakuljettimella. Risteyskohdassa lava jatkaa matkaansa ketjukuljetinta pitkin. Ketjukuljettimen ketjuja nostetaan pari senttiä ylöspäin risteä-

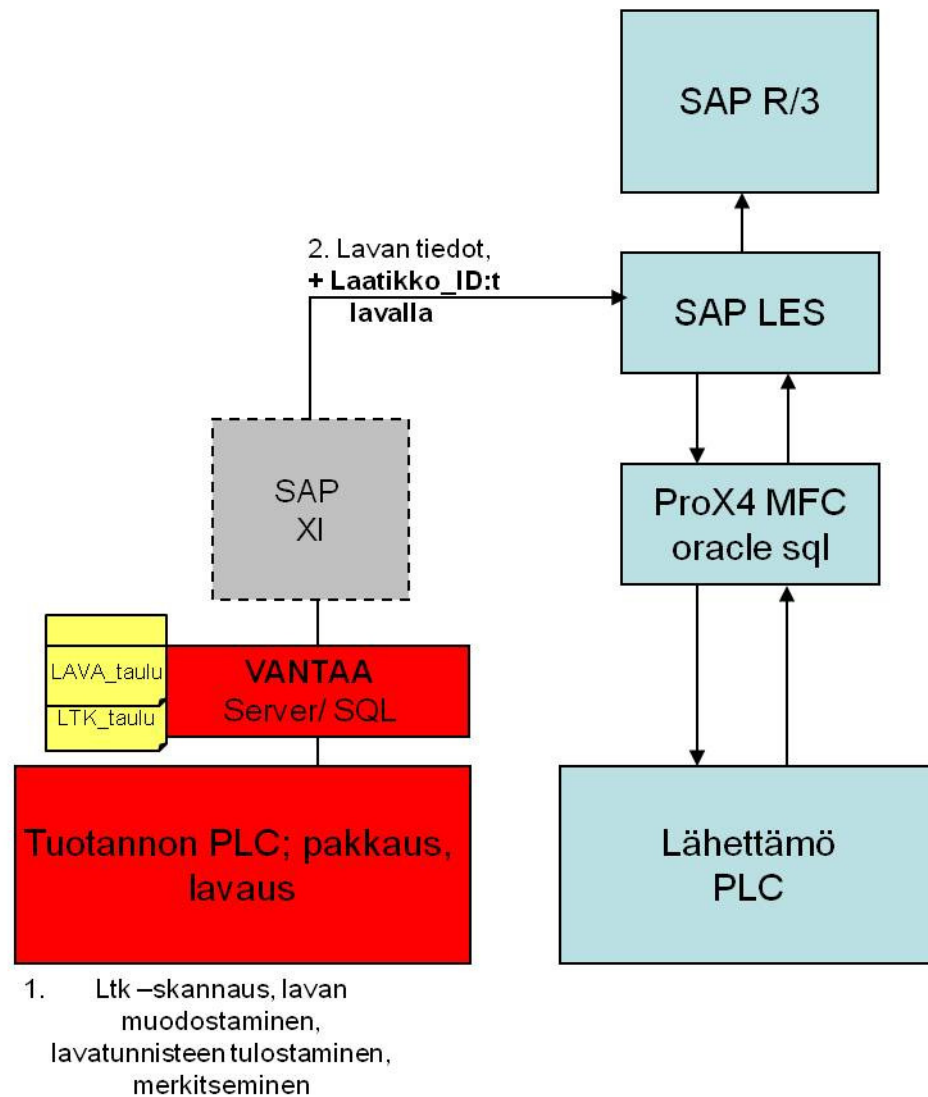
vässä kohdassa, jolloin lava irtaana rullista. Tämä on normaalikäytäntö lavojen liikuttelussa risteyskohdissa.

4.3.14. Tyhjien lavojen liikenne

Tyhjät lavapinot tulevat korkeavarastosta. Lavapinoja varastoidaan ketjukuljettimelle, josta niitä syötetään yksitellen lavamakasiiniin. Lavamakasiini purkaa lavoja lavakuljettimelle. Lavakuljetin vie tyhjän lavan valmiiksi täyslavakuljettimen viereen, josta siirtovaunu voi ottaa sen kyytiin luovuttaessaan valmista lavaa kuljettimelle.

4.4. Tiedonsiirto korkeavaraston ja lavausjärjestelmän välillä

Laatikoiden viivakoodit luetaan Firebird-tietokantaan ennen kuin laatikot päästetään järjestelmään. Näistä laatikoista syntyy tietokantaan niin sanottu tapahtumaloki, joka voidaan tarpeen vaatiessa hakea käyttöön sopivilla SQL-käskyillä. Laatikoiden tiedot siirtyvät robotin mukana lavalle. Lavan valmistuttua robotti ilmoittaa logiikalle lavan valmistumisesta. Tämän jälkeen erillinen ohjelma hakee lavatiedot tietokantaan. Valmiin lavan kylkeen tulostetaan lavalaput, jolloin viivakoodit luetaan uudestaan lavalappujen kunnollisuuden tarkastamiseksi. Myös tästä toimenpiteestä jää jälki tietokantaan. Kun tietokantaan syntyy uusi lavatieto, SAP Exchange infrastructure -välitysohjelma lukee tiedot lavasta ja välittää ne varastohallintajärjestelmään. SAP XI perustuu avoimiin standardeihin ja sitä käytetään yhdistämään eri valmistajien järjestelmiä. SAP XI:lle on määritetty skannausykli eli kuinka usein ohjelma skannaa tietokannan lävitse ja etsii uusia lavoja lavalokista. Tämän jälkeen lavatieto siirtyy eteenpäin kuvan 4.11 mukaisesti ja lavalle määritellään siirtotilaus ja hyllytysohje.



Kuva 4.11. Tiedonsiirto järjestelmien välillä.

4.5. Järjestelmän kapasiteetti

Järjestelmän kapasiteetti on tällä hetkellä 1373 laatikkoa tunnissa. Liitteessä 1 on esitetty muistio lavauksen kapasiteetin mittauksesta. Muistiosta ilmenee tämänhetkinen lavaamon kapasiteetti ja robottien käyttöasteet. Tässä työssä järjestelmän kapasiteettia ei mitattu uudestaan, koska kapasiteettiajon järjestäminen olisi vaatinut niin suuria toimenpiteitä tuotannon henkilökunnalta. Aiemmin tehtyä mittausta pystytään pitämään luotettavana, koska järjestelmään ei ole tehty muutoksia mittauksen jälkeen. Myöhemmin tässä työssä järjestelmän kapasiteettiajo uusitaan simulaattorin avulla.

5. JÄRJESTELMÄN MALLINTAMINEN

Tässä kappaleessa käsitellään lavausjärjestelmän mallinnuksen perusperiaatteet. Kuitenkaan työssä syntynyttä ohjelmakoodia ei esitetä, koska sitä kertyi useita tuhansia rivejä.

5.1. Mallinnuksen tavoitteet

Nykyinen lavausjärjestelmä on ollut mittava investointi jo ennen tätä diplomityötä. Mallintamisella pyritään saamaan varmuus siitä, että uudet investoinnit, jotka liitetään järjestelmään, parantavat järjestelmän kapasiteettia. Mallintaminen lähtee liikkeelle siitä, että ensiksi mallinnetaan nykyinen järjestelmä ja todennetaan mallin toimivuus.

Valmiiseen malliin, joka siis imitoi tämänhetkistä järjestelmää, lisätään kuusi pinontalaitetta ja kolmas robotti tulevia simulointiajoja varten. Tämän simulointimallin tulisi-kin olla päätöksenteon apuvälineenä, kun mietitään implementoidaanko nämä kehitystoimenpiteet. Lisäksi mallintamisen ja lähtötietojen keräämisen yhteydessä saattaa syntyä lisää kehitystoimenpiteitä, joita voidaan myös simuloida tämän diplomityön jälkeen.

Mallinnuksen tavoitteisiin pääsemiseksi simulointiprojektista kirjoitettiin simulointimäärittely. Määrittely tehtiin yhdessä Fimatic Oy:n kanssa. Simulointimäärittely on esitetty liitteessä 2.

5.2. 3D-mallin rakentaminen

3D-mallin tekeminen aloitettiin rakentamalla oikeata järjestelmää vastaava layout-malli. Lavausjärjestelmästä löytyi valmiina DWG-muotoinen CAD-kuva HK Ruokatalon arkistoista. AutoModin piirustusominaisuuksia käyttäen DWG-kuva siirrettiin tarvittavin osin simulointimalliin. Tarvittavat laitteet siirrettiin käsin CAD-kuvasta mallin pohjakuvaan. AutoMod tarjoaa siirtotyöskentelyyn automaattisen siirtotyökalun, mutta sitä ei käytetty, koska pohjakuvassa oli niin paljon ylimääräisiä elementtejä, jotka eivät olleet mallin kannalta olennaisia. Jokainen tarvittava laite mitattiin kuvasta ja siirrettiin oikeassa mittakaavassa simulointimalliin. Siirto-operaatiota suoritettaessa jokaiselle laitteelle määriteltiin ominaisuudet, joita toki pystyttiin muokkaamaan jälkikäteen. Seuraavaksi käydään läpi järjestelmän laitteiden mallintaminen lyhyesti.

5.2.1. Laatikkokuljettimet

Jokainen laatikkokuljetin tuotiin CAD-kuvasta oikeassa mittakaavassa ja oikeaan paikkaan simulointimalliin. Kuljettimien tyypeiksi valittiin rullakuljettimet oikean järjestel-

män mukaisesti. Tämän jälkeen jokaiselle kuljettimelle määriteltiin ominaisuudet. Kuljettimien pituus- ja leveystiето saatiin suoraan 2D-kuvasta, mutta sen lisäksi kuljettimille piti määritellä korkeus eli pystykoordinaatti. Kuljettimen ulkoasu haettiin AutoModista löytyvästä kirjastosta, josta voidaan hakea eri toimittajien laitemalleja. Tämän jälkeen kuljettimelle asetoitiin (station) viivakoodinluehtapiste, laatikon kääntöpöytä ja mahdollinen pinontalaite. Jokaiselle asemapisteele piti määritellä kohdistuspiste, joka siis määrittelee, minkä kohdan laatikosta pitää osua pisteeseen, jotta asemapiste aktivoituu. Ominaisuuksia määriteltäessä AutoMod vaati myös, että kuljettimille määritellään kuljetinnopeus. Todellisuudessa kuljettimien nopeudet haettiin aina lähtötietotaulukosta suoraan, eikä aiemmin määriteltä nopeutta käytetty.

5.2.2. Lavakuljettimet

Lavakuljettimet mallinnettiin periaatteessa samalla tavalla kuin laatikkokuljettimetkin. Kuitenkin osa lavakuljettimista on ketjukuljettimia, mikä piti ottaa huomioon mallintamisessa. Tämän lisäksi korjausasemalla on kaksisuuntainen kuljetin, jonka mallintamisessa täytyi käyttää hieman monimutkaisempaa tekniikkaa. Tälle kuljetinosuudelle määriteltiin kaksi rullakuljetinta samalle kohdalle siten, että kummallakin kuljettimella oli vain yksi kulkusuunta. Myös lavakuljettimille määriteltiin asemointipisteet laatikkokuljettimien tapaan. Koska järjestelmän lavausasetat ovat myös rullakuljettimia, täytyi jokaiselle asemalla määritellä piste, johon tyhjä lava syntyy simuloinnin alustuksessa. Lisäksi määriteltiin tarvittavia pisteitä lavojen liikuttamiseksi mallissa.

5.2.3. Siirtovaunut

Siirtovaunujen mallintamiseen on käytetty AutoModin sisäisiä lomakkeita. Kummallekin siirtovaunulle on määriteltä omat työalueet, kontrollipisteet ja kotiasemat. Lisäksi vaunulle voidaan syöttää nopeus, kiihtyvyys ja hidastuvuus lomakkeiden avulla. Vaunuille on määriteltä, kuinka monta kuormaa sillä voi kerrallaan olla kyydissä. Kyseiset vaunuthan voivat kuljettaa kahta lavaa yhtä aikaa, tyhjää ja täyttä lavaa. Kun siirtovaunun kapasiteetiksi on määritetty kaksi lavaa, voidaan ulkoasua lähteä rakentamaan. Tässäkin tapauksessa vaunulle löytyi kirjastosta sopiva malli. Tätä mallia hiottiin vielä hieman käsin, jotta se näytti enemmän oikean järjestelmän vaunulta. Vaunussa oleviin rullakuljettimiin määriteltiin edellisten kuljettimien tapaan asemapisteet, johon lavat asettuvat. Vaunujen tarkempi ohjaus ja synkronointi toteutettiin ohjelmakoodissa.

5.2.4. Robotit ja lineaarivaunut

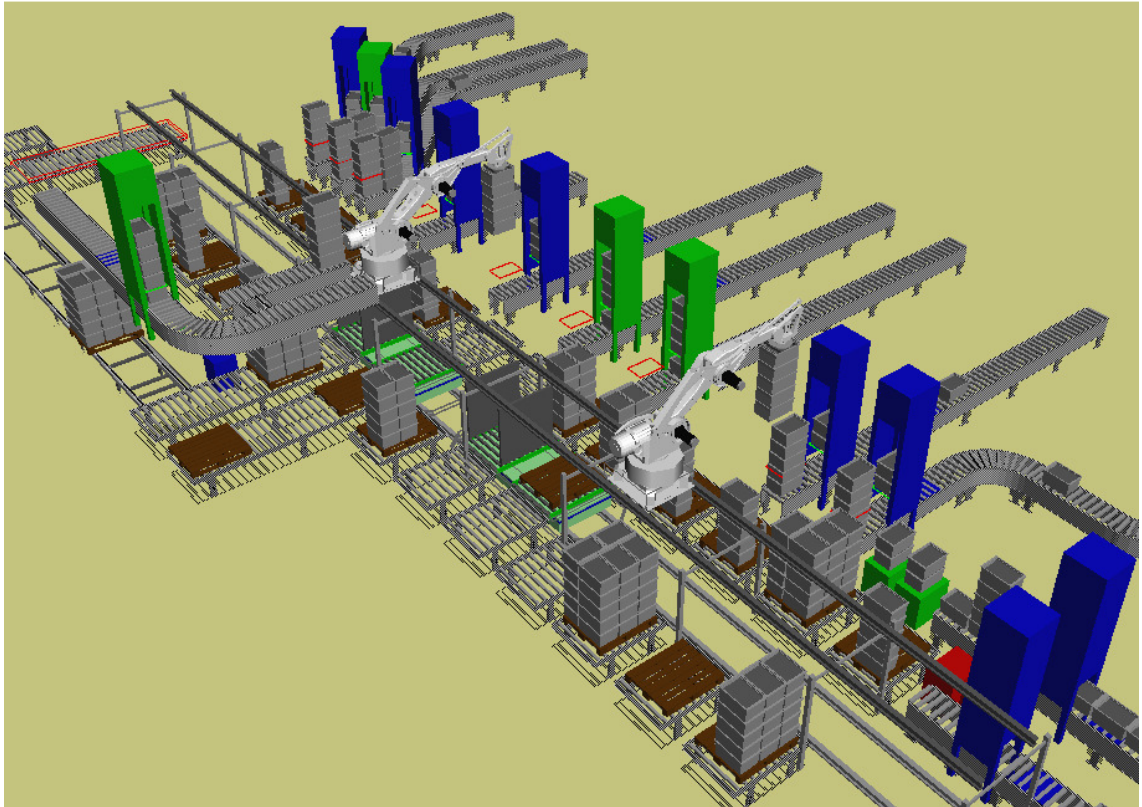
Lineaarivaunut on mallinnettu samalla lailla kuin siirtovaunutkin, mutta mallinnus on tehty pystyakselilla siirtovaunujen yläpuolelle. Tämän lisäksi lineaarivaunun kyydissä on robotti, jota vaunu liikuttaa. Lineaarivaunuille on määriteltä siirtovaunujen tapaan omat asemapisteesä eli kotiasemat sekä laatikoiden otto- ja jättöpisteet.

Robotit on haettu suoraan AutoModin kirjastosta. Robottien visuaalisen mallintaminen jätettiin hyvin vähäiselle tasolle, koska niiden visuaalinen toiminta ei ollut relevant-

tia tavoitteiden saavuttamiseksi. Robottien liikkeet on määritelty vaiheaikojen avulla ohjelmakoodissa.

5.2.5. Muut laitteet

Muita laitteita tässä järjestelmässä ovat pinontalaitteet, laatikon kääntöpöydät, etiketöintilaite ja vanteutuskone. Niiden mallintamisessa on käytetty samoja periaatteita kuin aiemmissa laitteissa, joten niiden mallintamista ei kuvata sen tarkemmin. Valmis 3D-malli järjestelmästä on esitetty kuvassa 5.1.



Kuva 5.1. *Lavausjärjestelmän 3D-malli.*

Kuvassa vihreällä värillä kuvataan laitteita, jotka suorittavat parhaillaan jotakin tehtävää. Kuvasta on myös helppo havaita eri laitteiden väliset korkeuserot. Etenkin ylätason kuljettimen korkeusero on helppo havaita tästä kuvasta.

5.3. Lähtötiedot

Lähtötiedot luetaan simulointimalliin suoraan Excel- tai tekstitiedostosta. Tämä helpottaa tietojen muokkaamista, jos lähtötiedoissa havaitaan virheitä tai niitä halutaan jostain syystä muuttaa. Simuloinnin tarkasteluväliksi on valittu yhden päivän tuotanto. Tuotanto alkaa klo. 5.00 ja kestää maksimissaan 24 tuntia.

5.3.1. Lähtötietojen kerääminen

Lähtötiedot kerättiin pääasiassa videokameralla. Jokainen malliin vaikuttava tapahtuma tallennettiin videoksi. Tallentamisen jälkeen videot ladattiin tietokoneelle ja käsiteltiin Avidemux-videonkäsittelyohjelmalla. Jokaisesta tapahtumasta, jotka vaikuttavat mallin toimintaan, tehtiin videopätkä. Näin pystyttiin eri toiminnoille määrittelemään vaiheajat. Tämän lisäksi laatikkokuljettimille määritettiin nopeudet. Nopeudenmittaus toteutettiin digitaalisella kierroslukumittarilla. Mittarissa on pyörivä rulla, joka asetetaan kuljettimen päälle. Tämän jälkeen kuljettimen nopeus voidaan lukea mittarin näytöltä.

5.3.2. Tuotetiedot

Tuotteiden tiedot ovat tekstitiedostossa, joka sisältää tuotannosta valmistuneet laatikot tuotantolinjoittain aikajärjestyksessä. Nämä tiedot on haettu järjestelmän tietokannasta. Malliin luetaan seuraavat lähtötiedot tuotteista, joita ovat

- Orfer lavanumero
- tuotenumero ja tuotteen nimi
- paino/kpl
- Orferin laatikkonumero
- linjanumero
- HK:n laatikkonumero
- kpl/ltk
- kg/ltk
- tuotantopäivä
- aikaleima
- aikaleima 2
- viimeisen laatikon merkintä.

5.3.3. Linjatiedot

Malliin luetaan seuraavat lähtötiedot tuotantolinjoista, joita ovat

- tuotantolinjan nimi ja numero
- laatikkokuljettimen nimi, numero ja nopeus
- lavausasema
- laatikon kääntäjien nopeudet
- mahdollinen pinontalaite kuljettimella
- linjan robotti.

Tuotantolinjoille on valittu lavausjärjestelmässä vakiolavausasemat. Jos halutaan muuttaa kuljetinta, jolta tuote ohjautuu lavausasemalle, valinta tehdään muokkaamalla lähtötietotaulukkoa.

5.3.4. Vaiheajat

Lisäksi taulukosta haetaan vaiheaikatiedot seuraaville laitteille, joita ovat

- robotit
- siirtovaunut
- vanteutuskone
- pinontalaitteet
- etiketöintilaite
- lavakuljettimet.

5.4. Käsittely-yksiköt ja resurssit

Malli sisältää taulukossa 5.1 esitetyt käsittely-yksiköt (load), joita prosessoidaan ja kuljetetaan järjestelmässä.

Taulukko 5.1. *Mallissa käytetyt käsittely-yksiköt.*

| Käsittely-yksikkö | Kuvaus |
|-------------------|---|
| L_crate | Laatikko |
| L_stack | Laatikkopino |
| L_pallet | Tyhjä kuormalava. |
| L_full_pallet | Täysi kuormalava |
| L_dummy | Käsittely-yksikkö pelkkää tiedon lukemista varten, fyysisellä ulkoasulla ei ole merkitystä. |

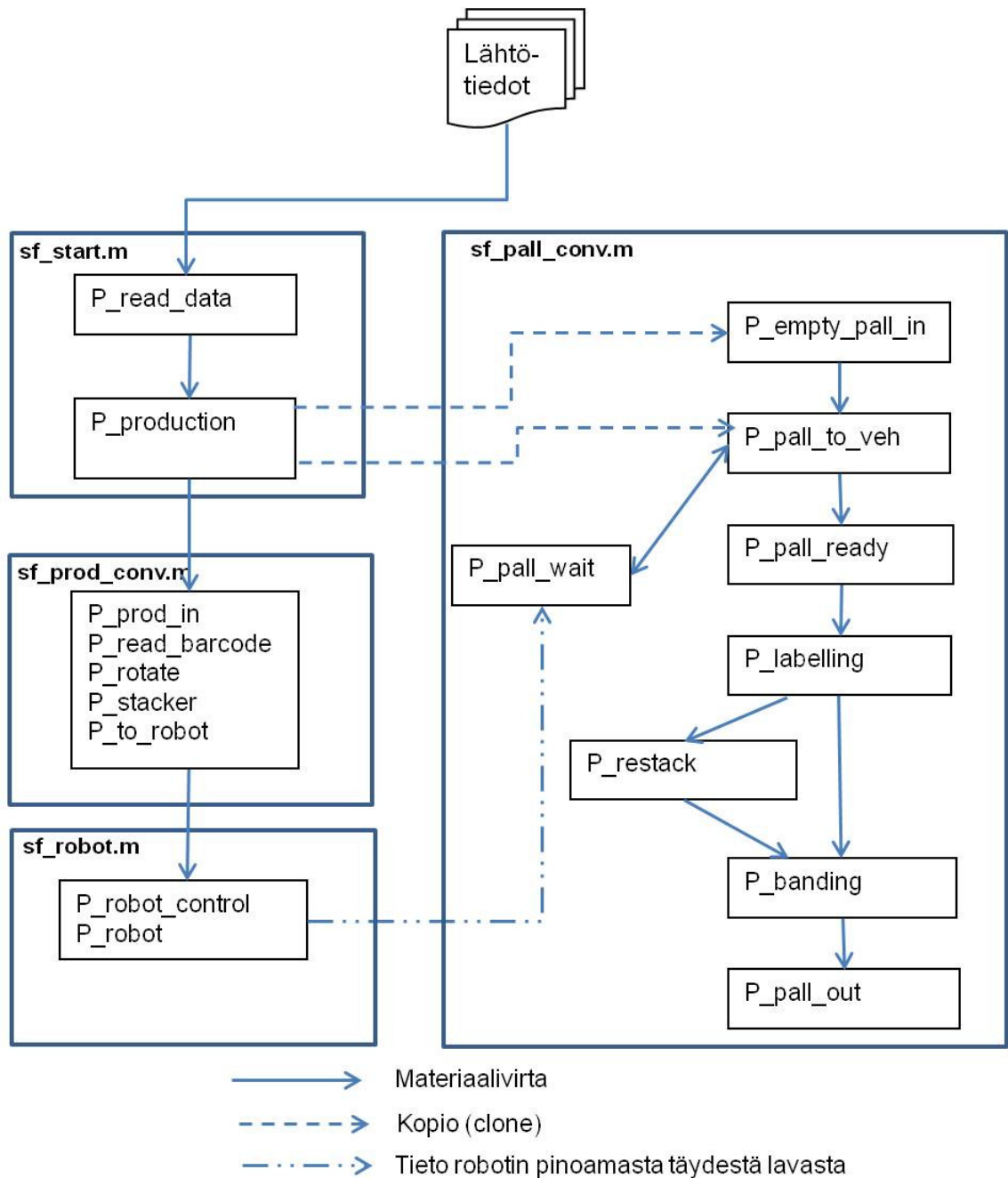
Järjestelmän laitteet mallinnetaan resursseina, joille on määritelty kapasiteettitiedot. Mallissa olevat resurssit on esitetty taulukossa 5.2.

Taulukko 5.2. *Mallissa käytetyt resurssit.*

| Resurssi | Kuvaus |
|----------------|--|
| R_robot | Robotti |
| R_gripper | Robotin tarttuja |
| R_robots | Robotit. Käytetään häiriön selvittämistilanteessa, jolloin kumpikin robotti on pysähtyneenä. |
| R_rotator | Kääntöpöytä |
| R_stacker | Pinontalaite |
| R_pall_vehicle | Siirtovaunu |
| R_labelling | Lavan etiketöinti |
| R_restack | Lavan tasaus |
| R_banding | Lavan vanteutus |

5.5. Mallinnettavat prosessit

Simulointimallissa prosesseilla kuvataan eri valmistusvaiheita, joita tuotteiden valmistusprosessi sisältää. Seuraavaksi esitellään lavausjärjestelmän simulointia varten mallinnettavat prosessit sekä lähdetiedostot (source file), johon kukin prosessi on kirjoitettu. Käytettävät toimintasäännöt on kirjoitettu neljään lähdetiedostoon. Kuvassa 5.2 on esitetty lavausjärjestelmän mallinnettavat prosessit ja prosessien väliset tieto- ja materiaa-
livirrat. Kuvan 5.2 *sf_start.m*-lähdetiedostossa malli initialisoidaan ja lähtötiedot luetaan malliin. *Sf_prod_conv.m* tiedostoon on kirjoitettu kuljettimien ja pinontalaitteiden toiminta. *Sf_robot.m* pitää sisällään kaikki robotteihin liittyvät toimintasäännöt. *Sf_pall.conv.m*-tiedosto pitää sisällään siirtovaunut, lavakuljettimet, etiketöinnin ja vanteutuksen.



Kuva 5.2. *Simulointimallin tieto- ja materiaalivirrat prosessien välillä.*

5.5.1. Mallin initialisointi

Järjestelmä on jaettu neljään kuljetinjärjestelmään niiden käyttötapojen perusteella. Nii-
tä ovat laatikkokuljettimet (conv_prod), lavakuljettimet (conv_pall), siirtovaunut
(veh_pall) ja lineaarivaunut (veh_robots). Näille kuljetinjärjestelmille määritellään
paikkamuuttajat simulointimallin ajamisen alussa suoritettavassa initialisoinnissa. Näin
siis muodostetaan esimerkiksi pinontalaitteen sijainti laatikkokuljettimella.

5.5.2. Lähtötietojen lukeminen

Prosessissa P_read_data mallin luetaan lähtötiedot edellä mainituista tiedostoista. Näiden lähtötietotiedostojen sisältö käsiteltiin jo aiemmin kappaleissa 5.3.2, 5.3.3 ja 5.3.4. Tässä prosessissa myös tieto muokataan sellaiseksi, että malli pystyy käsittelemään sitä. Esimerkiksi aikaleimat, joissa tieto on esitetty päivämääränä ja kellonaikana, muutetaan sekunneiksi.

5.5.3. Tuotantolinjojen toiminnan aloittaminen

Prosessissa P_production aloitetaan kaikkien tuotantolinjojen toiminta ja tuotetaan tuotelaatikoita järjestelmään kunkin linjan tuotantotehon mukaisesti. Jokaisen laatikon mukana seuraa kaikki tiedot, jotka löytyvät taulukosta kyseisen laatikon riviltä.

5.5.4. Tuotekuljettimet ja laatikon käsittely

Laatikon käsittelyä mallinnetaan erilaisissa prosesseissa. Alla on esitetty lyhyesti laatikon käsittelyä ohjaavat prosessit ja niiden tehtävät. Lisäksi luettelossa annetaan tarkentavia tietoja prosessien ominaisuuksista.

- P_prod_in
 - Laatikko siirretään laatikkokuljettimelle.
 - Pinontalaite on mallinnettu kaikille linjoille, mutta on käytössä vain lähtötiedoissa annetuissa linjoissa.
- P_read_barcode
 - Laatikon viivakoodi luetaan laatikosta.
 - Mallissa laatikot synnytetään viivakoodin luentapisteeseen.
 - Erän viimeisen laatikon tarkastelu tehdään myös tässä prosessissa. Tietokannassa on merkintä 1 viimeisen laatikon perässä ja se löytyy lähtötietotaulukosta.
 - Jos laatikkokuljettimelle ei ole määritelty pinontalaitetta, lasketaan milloin viisi laatikkoa on ohittanut viivakoodinlukijan. Kun viides laatikko on ohittanut lukijan, siirtyy käsittely-yksikkö robotin tilauslistalle (order list).
- P_rotate
 - Laatikko käännetään, jotta laatikoiden pinonta on mahdollista.
 - Linjakohtainen kääntömuuttuja asetetaan vuorotellen 0:ksi ja 1:ksi.
 - Mallissa käännetään joka toinen laatikko.
 - Kääntäminen kestää muuttujassa määritellyn ajan.
- P_stacker
 - Laatikon siirto pinontalaitteelle.
 - Jos linjalla on pinontalaite, laatikot pinotaan viiden laatikon pinoksi.
- P_to_robot
 - Laatikon tai laatikkopinon siirto robotin ottopaikalle.

Mallia on yksinkertaistettu laatikon suunnan tarkastamisessa. Mallissa joka toinen laatikko käännetään eikä suuntaa oikeasti tarkasteta.

5.5.5. Lavakuljettimet

Kuormalavojen käsittely mallinnetaan alla esitetyissä prosesseissa. Seuraavana esitetään prosessien ominaisuuksia ja tehtäviä.

- P_empty_pall_in
 - P_production prosessissa kloonataan tähän prosessiin tyhjä lava kuljettimelle.
 - Tämän jälkeen kuljettimelle synnytetään uusi tyhjä lava tarvittaessa.
- P_pall_wait
 - P_production prosessissa kloonataan tähän prosessiin tyhjät lavat lavausasemille.
 - Lava odottaa lavausasemalla valmistumista.
- P_pall_to_veh
 - P_production prosessista kloonataan tähän prosessiin tyhjä lava siirtovaunuun.
 - Tyhjän kuormalavan siirto ottopaikalta vaunuun ja lavausasemalle
 - Siirtovaunut eivät suorita tehtäviä yhtäaikaaisesti. Vasta kun siirtovaunu on saanut tyhjän lavan kyytiin ja saapunut kotiasemaan, toinen siirtovaunu voi suorittaa tehtävänsä.
- P_pall_ready
 - Lava on valmis siirrettäväksi kohti lähettämöä.
 - Lava siirtyy siirtovaunuun.
 - Siirtovaunu siirtyy yhden lavausaseman verran sivummalle ja syöttää tyhjän lavan lavausasemalle.
 - Täysi lava siirtyy kuljettimelle.
- P_labelling
 - Lavaan laitetaan kaksi etikettiä.
 - Tässä prosessissa tarkastetaan, onko kyseessä tuote-erän viimeinen lava ja tarvittaessa lava siirretään korjausasemaan.
- P_restack
 - Tuote-erän viimeinen lava otetaan korjausasemaan.
 - Lavan laatikot tasataan ja lava lähetetään takaisin kuljettimelle.
- P_banding
 - Lavan ympärille laitetaan vanne.
- P_pall_out
 - Lava siirtyy kohti lähettämöä.

5.5.6. Lavausrobotit

Lavausrobotin toiminta mallinnetaan seuraavilla prosesseilla. P_robot prosessissa on kolme vaihtoehtoista tapaa, jolla robotti siirtää laatikoita lavalle. Robotti valitsee työkentelytavan tuotantolinjan ominaisuuksien perusteella.

- P_robot
 - Laatikkopinon siirto lavalle.
 - Laatikon siirto pinontapaikalle ja pinontapaikalla valmistuvan pinon siirto lavalle.
 - Pinon muodostaminen robotin tarttujaan ja valmistuvan pinon siirto lavalle.
- P_robot_control
 - Kummallakin robotilla on omat ohjaussääntönsä ja priorisointinsa.

5.6. Mallin verifiointi

Mallin verifiointinissa tarkistetaan, että mallin koodi kääntyy oikein. Tässä työssä mallin verifiointi suoritettiin osissa. Mallin koodia analysoitiin aina tietyn ajanjakson välein. Lisäksi tutkittiin siihen asti tehtyä mallia ja käytiin läpi laitteiden toimintaa. Pääasiassa verifiointi suoritettiin visuaalisesti tutkimalla AutoModin grafiikkanäkymää ajamalla mallia läpi.

Lisäksi verifiointia suoritettiin käymällä koodia lävitse projektiryhmän kanssa. Tällöin huomattiin usein, että jotkut asiat oli toteutettu eriävästi reaalisen maailman kanssa. Toisaalta, joskus asiat oli toteutettava hieman eri lailla kuin ne oikeassa järjestelmässä oli toteutettu.

5.7. Mallin validointi

Kuten aiemmin kappaleessa 3.3.7 todettiin, validoinnissa varmistetaan, että mallin suunnittelu on tehty oikein ja simulointimalli vastaa toiminnaltaan kuvattua järjestelmää. Tämän toimenpiteen tarkoituksena on varmentaa simulointitulosten luotettavuus, jolloin jatkosuunnitelmat ja päätökset investoinneista voidaan tehdä mahdollisimman luotettavaan tietoon perustuen ja mahdollisimman vähin riskitekijöin.

Tavallisesti validointi kannattaa suorittaa vertaamalla simulointituloksia vastaaviin reaalijärjestelmän tuloksiin. Tässä työssä validointi oli järkevästi tehtävissä, koska simuloitava järjestelmä oli oikeasti olemassa ja siitä saatiin tarvittavat vertailutiedot.

Simulointimallissa tuotelaatikot synnytetään viivakoodin luentapisteeseen. Oikean järjestelmän tietokannasta löytyy aikaleima, jolloin laatikko on luettu viivakoodin luentapisteessä. Näin ollen pystyttiin synnyttämään oikeata vastaava materiaalivirta simulointimallin. Lisäksi järjestelmä kerää tietoa lavojen valmistumisajankohdasta tietokantaan, kun lavaa etiketöidään. Mallissa viivakoodin luentapiste on mallinnettu täsmälleen samaan kohtaan kuin reaalimaailmassa. Näin ollen validointi pystyttiin suorittamaan

vertailemalla lavojen valmistumisia mallin ja oikean järjestelmän välillä. Taulukossa 5.3 on esitetty otos validointimateriaalista.

Taulukko 5.3. *Esimerkki validointimateriaalista.*

| Lavanro | Tuote | | Linja | Toteutuma | Mallin toteutuma | Malli myöhässä | Malli ajoissa |
|---------|-------|-------------------------------------|-------|-----------|------------------|----------------|---------------|
| 438074 | 7789 | BURGERI 40 KPL | 41 | 19:03:16 | 19:03:21 | 0:00:05 | |
| 438075 | 5030 | HK SININEN LENKKI | 6 | 19:06:34 | 19:06:25 | | 0:00:09 |
| 438076 | 6165 | HK POPSI ISO KEVYT 10, 600 G | 21 | 19:07:59 | 19:07:54 | | 0:00:05 |
| 438077 | 3710 | S/N JAUHELIHA 80/20 RASVAA MAX 22 % | 45 | 19:09:25 | 19:09:21 | | 0:00:04 |
| 438080 | 7789 | BURGERI 40 KPL | 41 | 19:13:22 | 19:13:25 | 0:00:03 | |
| 438083 | 5030 | HK SININEN LENKKI | 6 | 19:19:29 | 19:19:29 | 0:00:00 | |
| 438085 | 5051 | HK AITO NAKKI 500 G | 3 | 19:22:26 | 19:22:24 | | 0:00:02 |
| 438086 | 3710 | S/N JAUHELIHA 80/20 RASVAA MAX 22 % | 45 | 19:22:27 | 19:22:23 | | 0:00:04 |
| 438087 | 5409 | HK KABANOSSI ORIGINAL 400 G | 8 | 19:23:31 | 19:23:24 | | 0:00:07 |
| 438091 | 7789 | BURGERI 40 KPL | 41 | 19:25:09 | 19:25:14 | 0:00:05 | |
| 438094 | 5030 | HK SININEN LENKKI | 6 | 19:30:25 | 19:30:20 | | 0:00:05 |
| 438095 | 3710 | S/N JAUHELIHA 80/20 RASVAA MAX 22 % | 45 | 19:32:08 | 19:32:05 | | 0:00:03 |
| 438096 | 7789 | BURGERI 40 KPL | 41 | 19:38:34 | 19:38:38 | 0:00:04 | |

Simulointiajojen jälkeen käytiin lävitse mallin tuottamaa validointimateriaalia. Kun validointimateriaalista huomattiin, että mallin ja todellisen järjestelmän välillä oli huomattavia eroja, tehtiin simulointiajo uudestaan ja tarkasteltiin visuaalisesti virhetilanteita. Näin virheet pystyttiin löytämään ja korjaamaan malliin. Simulointiajoja suoritettiin niin kauan kunnes mallin toiminta oli riittävän tarkkaa. Täytyy huomata, että mallin toimintaa on turha hioa loputtomiin, koska malli ei koskaan pysty täysin vastaamaan todellisen järjestelmän toimintaa. Vaikka malli ei olisikaan absoluuttisen tarkka, pystytään sitä käyttämään järjestelmän kehittämiseen.

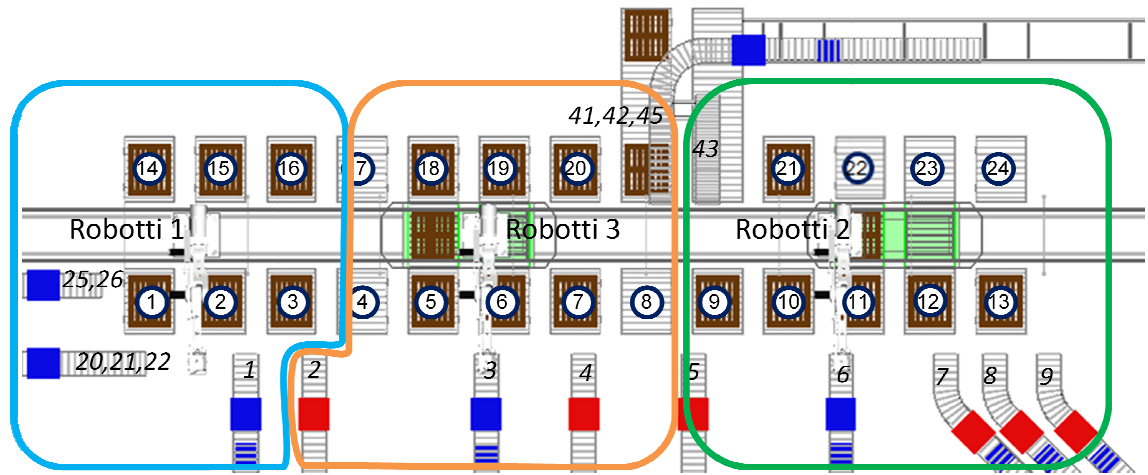
5.8. Kolmannen robotin mallintaminen

Validoinnin jälkeen malliin lisättiin kolmas robotti. Näin ollen kolmannen robotin tuoma lisäkapasiteetti pystytään selvittämään simulointiajojen yhteydessä. Kolmannen robotin liittämisen yhteydessä kaikkien robottien ohjaussäännöt piti uusida. Ohjaussääntöjen määrittämisessä otettiin huomioon tuotantolinjojen laatikkokapasiteetit, robottien kuormitukset sekä robottien työalueet. Yksi tavoite oli, että jokaiselle robotille saatiin oma työalueensa, joka ei risteä muiden robottien kanssa. Jotta tämä oli mahdollista, täytyi joidenkin tuotantolinjojen lavausasemaa muuttaa. Tämä ei onneksi ollut ongelma, koska järjestelmässä oli käyttämättömiä lavausasemia. Taulukossa 5.4 on esitetty uudet tuotantolinjojen jaot robottien suhteen.

Taulukko 5.4. *Kolmannen robotin lisäämisen vaikutus robottien työalueisiin.*

| Robotti | Tuotantolinja (HK) | Lavausasema | Laatikkokuljetin |
|---------|--------------------|-------------|------------------|
| 1 | 1 | 3 | 1 |
| 1 | 20 | 14 | 12 |
| 1 | 21 | 2 | 12 |
| 1 | 22 | 1 | 12 |
| 1 | 25 | 16 | 11 |
| 1 | 26 | 15 | 11 |
| 2 | 5 | 9 | 5 |
| 2 | 6 | 10 | 6 |
| 2 | 7 | 11 | 7 |
| 2 | 8 | 12 | 8 |
| 2 | 9 | 13 | 9 |
| 2 | 43 | 21 | 10 |
| 3 | 41 | 19 | 10 |
| 3 | 2 | 5 | 2 |
| 3 | 3 | 6 | 3 |
| 3 | 4 | 7 | 4 |
| 3 | 42 | 18 | 10 |
| 3 | 45 | 20 | 10 |

Seuraavalla sivulla on esitetty (kuva 5.3) robottien työalueet kolmen robotin tilanteessa. Kolmas robotti lisättiin jo olemassa olevien robottien väliin.



Kuva 5.3. *Robottien työalueet.*

Kolmas robotti oli sijoitettava jommallekummalle puolelle jauheliha- ja hampurilaislinjoja vastaavia kuljettimia. Muuten robottien työalueiden muodostaminen ilman yhteentörmäyksiä olisi ollut mahdotonta. Tyhjät lavausasemat on sijoitettu työalueiden väliin samasta syystä. Työalueiden jakautuessa kuvan mukaisella tavalla oikeanpuoleinen siirtovaunu palvelee robottia 2 ja vasemmanpuoleinen siirtovaunu palvelee robotteja 1 ja 3.

6. SIMULOINTIAJOT JA TULOSTEN ANALYSOINTI

Tässä kappaleessa tutkitaan järjestelmän laatikonläpäisykykyä ja robottien kuormitusta neljässä erilaisessa simulointiajossa. Ensimmäisessä ajossa järjestelmän tämänhetkinen kapasiteetti määritetään. Toisessa ajossa jokaiselle kuljettimelle, jossa pinontalaitetta ei vielä ole, lisätään pinontalaite ja ajo toistetaan. Yhteensä siis pinontalaitteita lisätään kuusi kappaletta. Kolmannen robotin vaikutusta kapasiteettiin tutkitaan kolmannessa simulointiajossa. Viimeiseksi tutkitaan kahden aiemman kehitystoimenpiteen yhteisvaikutusta kapasiteettiin.

Simulointiajoja tehtäessä lavausjärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, johon syötetään yksittäisiä laatikoita ja siitä lähtee lavattuja laatikkolavoja. Läpimenevien laatikoiden määrä mitataan etiketöintipisteen jälkeen. Kapasiteetilla tarkoitetaan tällaisen järjestelmän suorituskykyä. Järjestelmään voidaan tehdä modifikaatioita ja työssä vertaillaan millainen vaikutus näillä modifikaatioilla on järjestelmän kapasiteettiin. Simuloinnista mitattu kapasiteetti kuvaa vain sitä erikoistapausta, joka on vallinnut simuloinnin mittaushetkellä. Jokaisessa simulointiajossa kapasiteetin vertailuarvoksi valitaan suurin laatikkomäärä, jonka lavausjärjestelmä pystyy tunnissa käsittelemään.

6.1. Simulointiaineisto

Ennen simulointia rakennettiin simulointiaineisto, jolla pystytään kuormittamaan järjestelmää testiajoissa. Aineiston tarkoituksena on kuormittaa järjestelmää niin paljon, että sillä voidaan mitata nykyisen järjestelmän kapasiteetti luotettavasti ja tutkia kapasiteetin kehittymistä, kun järjestelmää parannetaan kehitystoimenpitein. Jokaisen tuotantolinjan maksimikapasiteetti määritettiin ja määrittelyn avulla saatuja tietoja käytettiin niin sanotun maksimipäivän rakentamiseen. Tämän jälkeen aineistoon lisättiin vielä laatikoita, jotta se varmasti kuormittaisi lavausjärjestelmää riittävästi jokaisessa simulointiajossa.

Koska malli oli rakennettu siten, että lähtötiedot syötetään joko Excel- tai tekstitiedostona järjestelmään, tehtiin myös niin sanottu maksimipäivä Excel-tiedostomuotoisena. Tuotantolinjojen maksimikapasiteetit olivat tiedossa HK Ruokatalolla, joten linjojen tehojen määrittämistä ei tarvinnut tehdä alusta alkaen. Kuitenkin tuotantolinjojen tehot tarkastettiin käymällä lävitse pakkauskoneiden ja pakkausrobottien tahtiajat. Tahtiaikojen perusteella pystyttiin määrittämään teoreettiset maksimilaatikkovirrat jokaiselta tuotantolinjalta. Itse aineistotiedosto rakennettiin käyttämällä oikeata dataa, jota saatiin järjestelmän tietokannoista. Oikeaa dataa soveltamalla pystyttiin rakentamaan jokaiselle linjalle maksimithehoa vastaavat laatikkomäärät. Nakkitehtaan linjalle 26 ei simuloitu tuotantoa, koska nakkitehtaan alakerran tuotantolinjat eivät ole

koskaan käynnissä samanaikaisesti, joten linjan 26 mukaan ottaminen olisi vääristänyt tuloksia.

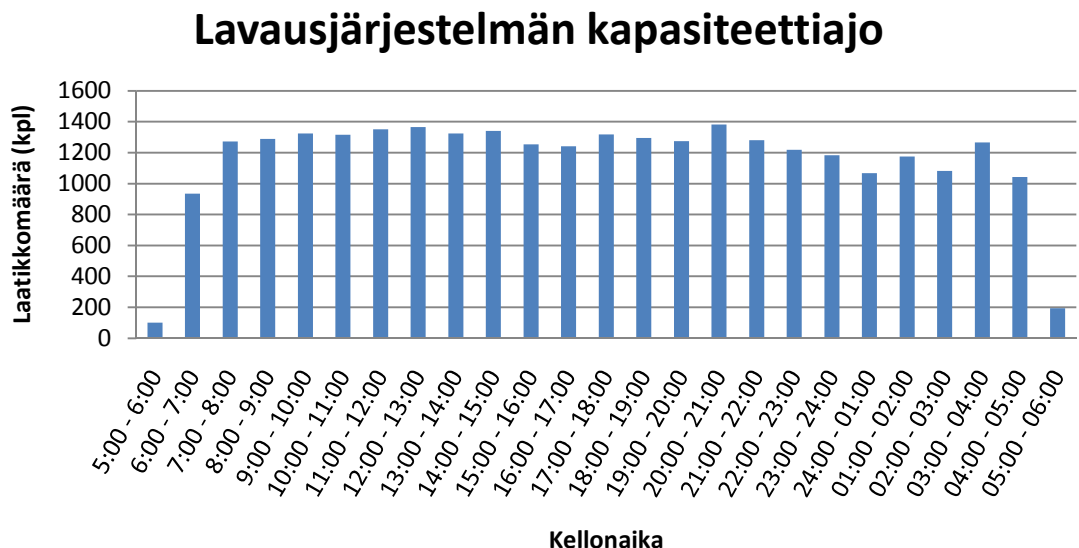
Tässä työssä ei kuitenkaan julkaista tuotantolinjojen kapasiteettitietoja, koska ne ovat yrityksen salaista materiaalia. Näin ollen myös simulointiaineiston julkaiseminen ei tule kysymykseen. Täytyy myös huomata, että syntyneessä Excel-tiedostossa on yhteensä 28894 riviä, joten sen esittäminen tässä työssä olisi muutenkin mahdotonta.

Aineiston keskimääräinen laatikkomäärä on 1856 laatikkoa tunnissa aikavälillä klo 06.00–21.00. Laskuista on jätetty ensimmäinen ja viimeinen tunti huomioimatta, koska niiden laatikkomäärät olivat niin pieniä. Aineiston huipputunti sijoittuu aikavälille klo 07.00–08.00. Tällä välillä järjestelmään syötettyjen laatikoiden määrä on 2263 laatikkoa. Aineisto kuormittaa järjestelmää riittävästi simulointiajoja varten, sillä järjestelmän tämänhetkinen kapasiteetti on 1373 laatikkoa tunnissa liitteen 1 mittauksen mukaisesti.

6.2. Lavausjärjestelmän kapasiteetin määrittäminen

Simulointiajot aloitettiin määrittämällä nykyisen järjestelmän kapasiteetti simuloimalla tehtyä mallia. Tässä vaiheessa malliin ei lisätty vielä mitään kehitystoimenpiteitä, vaan tarkoituksena oli kuormittaa nykyistä järjestelmää simulointiaineistolla ja mitata järjestelmän laatikonläpäisykyky.

Lavausjärjestelmän kapasiteetti mitattiin siten, että malliin laitettiin laskuri lavojen etiketöintipisteen jälkeen. Kun lava ohitti tämän pisteen, malli kirjasi ohi menneiden laatikoiden määrän tiedostoon. Kuvaajassa 6.1. on esitetty järjestelmän kapasiteetin määrittämistä varten tehdyn simulointiajon tulokset.



Kuva 6.1. Lavausjärjestelmän kapasiteettiajon tulokset.

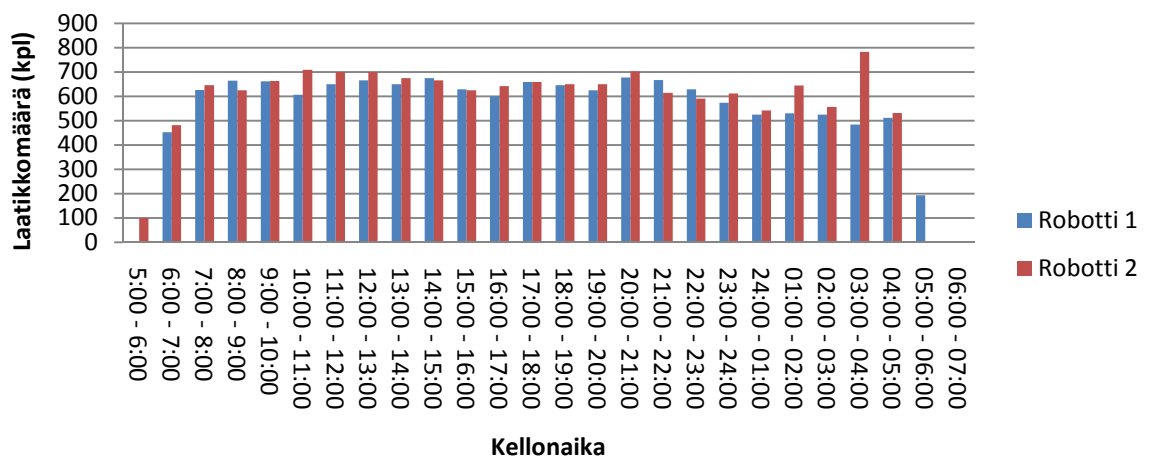
Tulosten mukaan järjestelmän kapasiteetiksi saatiin 1381 laatikkoa tunnissa. Huipputunti asettui klo 20.00 – 21.00 väliselle ajalle. Saatu maksimiarvo on hyvin lähellä liitteen 1 antamia tuloksia. Toiseksi suurin laatikkomäärä meni järjestelmän läpi klo

12.00 - 13.00 välisenä aikana. Tällöin läpimeno oli 1365 laatikkoa. Tämänkin ajon perusteella voidaan todeta, että järjestelmän mallinnus on onnistunut riittävällä tarkkuudella.

Lavausjärjestelmä pystyi suoriutumaan aineiston laatikkomäärästä, mutta lavaus kesti yhteensä noin 24 tuntia. Aineiston mukaisesti viimeiset laatikot tuotantolinjoilta on kirjattu valmistuneeksi klo 21.30. Tämä tarkoittaa sitä, että osa tuotteista joutui odottamaan kuljettimilla yli seitsemän tuntia. Todellisuudessa tämä ei olisi ollut mahdollista, vaan kuljettimet olisivat ruuhkautuneet ja tuotantolinjoja olisi jouduttu pysäyttämään.

Tutkimalla graafista simulointiesitystä huomattiin, että järjestelmän pullonkaulaksi muodostuivat lavausrobotit. Lavausrobotit eivät ehtineet suorittamaan lavausta sitä mukaa, kun laatikoita valmistui tuotantolinjoilta. Lavausrobottien ongelmaksi koitui se, että suurin osa robottien ajasta kului laatikoiden pinontaan linjoilla, joissa ei ollut laatikoiden pinontalaitetta. Etenkin robotti 1 oli ongelmissa nakkitehtaan kanssa, jossa suurta kuormaa aiheuttivat ensimmäisen kerroksen nakkilinjat. Kyseisistä nakkilinjastoista vain yhden linjan laatikoita voidaan pinota kerrallaan pinontalaitteella ja kaksi muuta laatikokovirtaa joudutaan pinoamaan lattiapinontapaikoille. Tämä hidastaa huomattavasti robotin toimintaa. Robotti 1 käytti laatikoiden pinontaan 38 % ajastaan klo 06.00 – 21.00 välisenä aikana. Robotille 2 kyseinen arvo on 51 %. Kuvaajassa 6.2. on esitetty robotikohtaiset laatikkomäärät simulointiajon aikana.

Laatikkokuorman jakautuminen robottien kesken



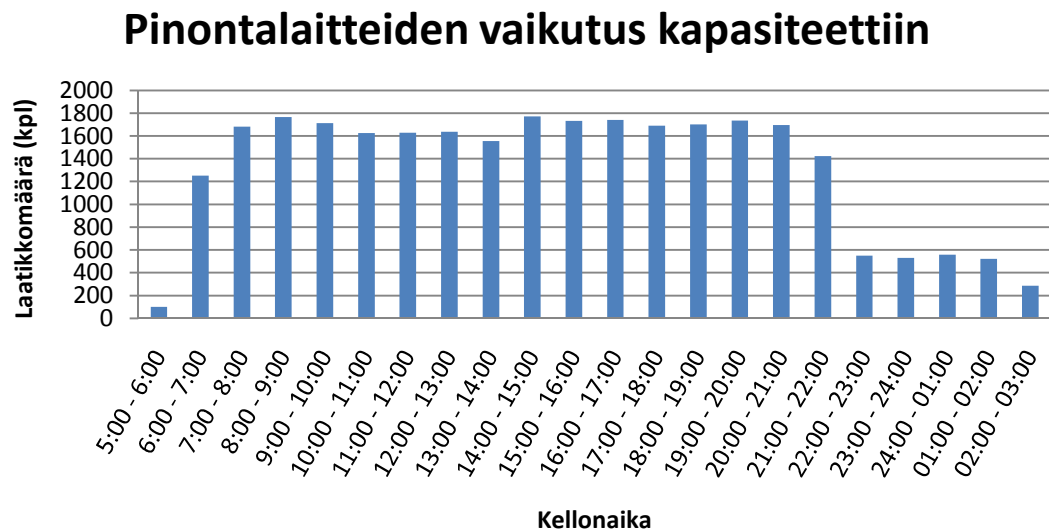
Kuva 6.2. Laatikoiden jakautuminen robottien välillä.

Kuvaajan 6.2 mukaan laatikot ovat jakautuneet melko tasaisesti robottien kesken. Kuitenkin robotti 2 on käsitellyt hieman enemmän laatikoita. Kuvaajasta pystytään päättämään, että robottien laatikoidenkäsittelykyky on hyvin tasainen. Suurimmat erot robottien lavauksessa löytyy klo 03.00 jälkeen, jolloin robotti 1 jäi purkamaan nakkitehtaalte kertynyttä ruuhkaa ja robotti 2 jäi purkamaan jauhelila- ja hampurilaislinjojen laatikkopinoja. Muiden linjojen ruuhkat oli purettu klo 03.00 mennessä. Klo 03.00 –

04.00 välisen ajan piikki, johtuu siitä, että robotti 2 pääsi käsittelemään laatikoita pelkästään yhdeltä linjalta ja ne olivat valmiiksi pinottuna.

6.3. Kuuden pinontalaitteen lisääminen järjestelmään

Ensimmäisenä kehitystoimenpiteenä malliin lisättiin kuusi laatikon pinontalaitetta. Simulointiajoissa käytettiin samaa aineistoa kuin kapasiteetin määrittämisen yhteydessä. Läpimenevien laatikoiden mittaus suoritettiin myös samassa paikassa. Kuvaajassa 6.3 on esitetty ensimmäisen kehitystoimenpideajon tulokset.



Kuva 6.3. Pinontalaitteiden vaikutus kapasiteettiin.

Tulosten mukaan kyseisellä modifikaatiolla kapasiteetiksi mitattiin 1771 laatikkoa tunnissa, mikä saavutettiin aikavälillä klo 14.00 – 15.00. Tässä erikoistapauksessa järjestelmä pystyi lavaamaan 390 laatikkoa tunnissa enemmän kuin alkuperäinen järjestelmä. Nyt voidaan verrata tämän modifikaation kapasiteettia alkuperäiseen kapasiteettiin.

$$\text{Muutos} = \frac{1771 \frac{\text{ltk}}{h} - 1381 \frac{\text{ltk}}{h}}{1381 \frac{\text{ltk}}{h}} = 0.282 \quad (2)$$

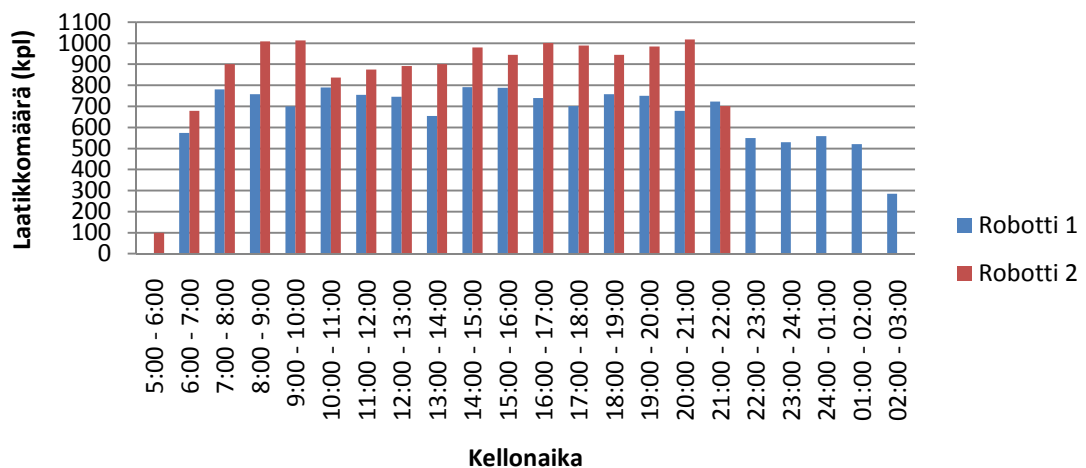
Kehitystoimenpiteen ansiosta robottien ei juurikaan tarvinnut käyttää aikaansa laatikoiden pinontaan. Robotti 1:n pinoamiseen kului 8 % kokonaisajasta ja robotille 2 ei kertynyt yhtään pinonta-aikaa. Robotti 1 joutui edelleen pinoamaan nakkitehtaalta tulleita laatikoita. Kun robottien pinonta-aika laskettiin minimiin, robotit pystyivät suoriutumaan lavauksesta huomattavasti nopeammin. Nyt kuitenkin pullonkaula siirtyi siirtovaunuihin. Visuaalisesti simulointiajoa tutkimalla huomattiin, että siirtovaunut eivät ehtineet noutaa valmiita lavoja sitä mukaa, kun niitä valmistui. Pahimmassa tapauksessa robotit joutuivat pysäyttämään lavauksensa. Myöskään vanteutuskoneen kapasiteetti ei

riittänyt valmiiden lavojen käsittelyyn, vaan korjausaseman kautta jouduttiin poistamaan 42 lavaa.

Pinontalaitteiden lisäämisen ansiosta simulointiaineistosta pystyttiin suoriutumaan nopeammin kuin ilman lisäystä. Kuitenkin lavausta jouduttiin jatkamaan yömyöhään. Tässäkin ajossa osa laatikoista olisi joutunut odottamaan kuljettimilla useita tunteja.

Seuraavassa kuvaajassa (6.4) on esitetty laatikoiden jakautuminen robottien kesken tuntitasolla. Kuvaajasta nähdään, että robotti 2 on pystynyt lavaamaan enemmän laatikoita tuntitasolla. Tämä johtuu siitä, että robotti 2 ei joutunut suorittamaan laatikoiden pinontaa ollenkaan. Kuvasta voidaan myös todeta, että pinontalaitteiden lisääminen on parantanut huomattavasti robotti 2:n laatikonkäsittelykapasiteettia ja se on pystynyt lavaamaan kaikki laatikot ennen klo 22.00. Nakkitehdas aiheutti edelleen vaikeuksia robotti 1:n lavaukselle.

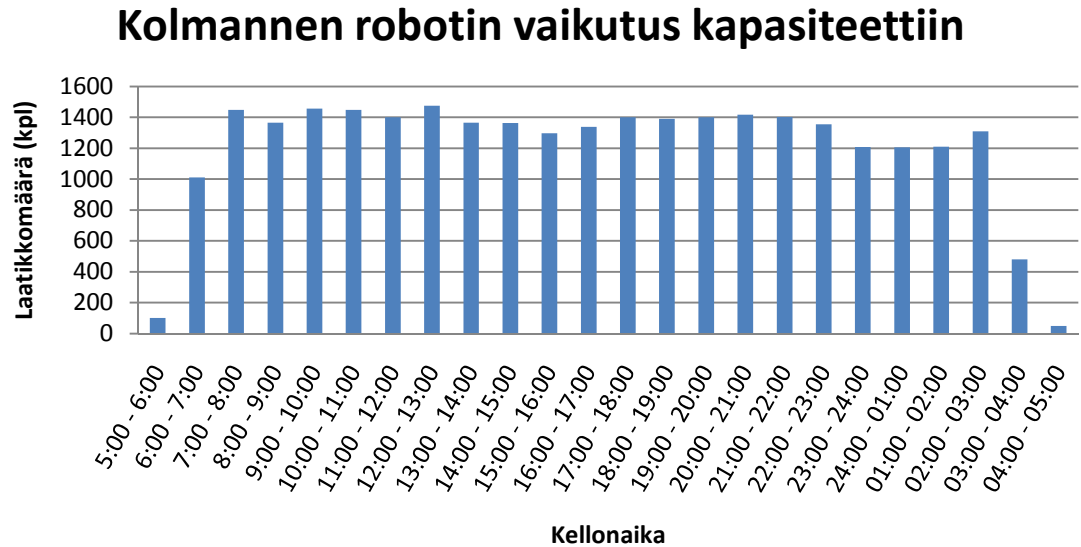
Laatikkokuorman jakautuminen robottien kesken



Kuva 6.4. *Laatikoiden jakautuminen robottien välillä.*

6.4. Kolmannen robotin lisääminen järjestelmään

Kolmannessa simulointiajossa malliin lisättiin kolmas robotti. Lisäystä vastaava simulointimalli on esitetty kappaleessa 5.8. Tällä tavoin robottien kuormitusta pyrittiin tasamaan. Yksi roboteista ohjattiin palvelemaan pelkästään 1-linjaa ja nakkitehdasta. Tämän avulla yritettiin ratkaista ruuhkaongelmaa nakkitehtaan osalta. Pää tavoite oli kuitenkin tutkia kolmannen robotin lisäyksen vaikutusta kapasiteettiin. Tätä simulointiajoa varten simulointiaineistoa muokattiin sopivammaksi kolmelle robotille. Syötettävien laatikoiden määrä pysyi vakiona, mutta laatikkomääriä tasoitettiin robottien kesken. Kuvaajassa 6.5 on esitetty kolmannen simulointiajon tulokset.



Kuva 6.5. Kolmannen robotin vaikutus kapasiteettiin.

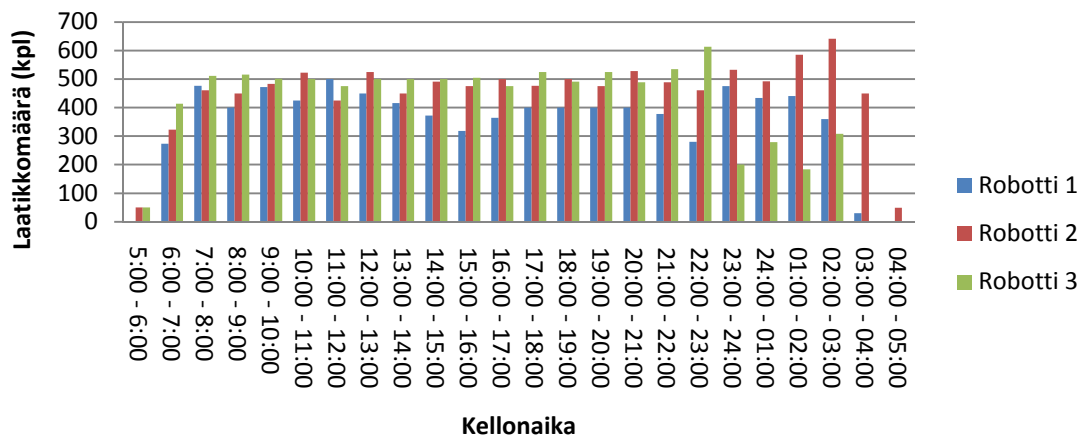
Simulointiajon tulosten perusteella kyseisen modifikaation kapasiteetiksi mitattiin 1475 laatikkoa tunnissa, mikä saavutettiin klo 12.00 – 13.00 välisenä aikana. Järjestelmä pystyi käsittelemään 94 laatikkoa tunnissa enemmän kuin alkuperäinen järjestelmä. Seuraavaksi määritetään kapasiteetin muutos verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen.

$$\text{Muutos} = \frac{1475 \frac{\text{ltk}}{\text{h}} - 1381 \frac{\text{ltk}}{\text{h}}}{1381 \frac{\text{ltk}}{\text{h}}} = 0.068 \quad (3)$$

Kolmannen robotin vaikutus järjestelmän kapasiteettiin on melko vaatimaton. Tulosten vaatimattomuus johtuu siitä, että robottien pinonta-asteet on kolmannesta robotista huolimatta korkeat. Robottien pinonta-ajat kokonaisajasta ovat seuraavanlaisia: robotti 1 38 %, robotti 2 28 % ja robotti 3 32 %. Koska robotit eivät käsitelleet laatikkopinoja, aineiston laatikkomäärä kuormitti robotteja edelleen raskaasti. Lisäksi robottien sijoittelu aiheutti sen, että siirtovaunut kuormittuivat epätasaisesti. Näin ollen vasemmanpuoleinen siirtovaunu joutui työskentelemään lähes kaksinkertaisen määrän verrattuna oikeanpuoleiseen siirtovaunuun. Tämä johti siihen, että kovemmin kuormitettu siirtovaunu ei pystynyt palvelemaan valmiita lavoja riittävän nopeasti. Siirtovaunujen epätasaisen kuormituksen ja robottien korkeiden pinonta-asteiden yhteisvaikutuksen johdosta kapasiteetin kasvu jäi melko alhaiseksi.

Kuvaajassa 6.6. on esitetty robottien laatikoidenkäsittelykyky kapasiteettiajon aikana. Robottien kuormituksia tulee tarkastella aikavälillä klo 6.00 – 21.00, koska tällä aikavälillä laatikoita syötetään järjestelmään kaikilta tuotantolinjoilta. Aikaikkunan ulkopuolella tuotanto on vasta alkamassa tai robotit purkavat jäljelle jäänyttä ruuhkaa.

Laatikkokuorman jakautuminen robottien kesken



Kuva 6.6. Laatikkokuorman jakautuminen kolmen robotin kesken.

Robotti 1:n laatikonkäsittelykyky on selvästi heikompi kuin kahden muun robotin. Tämä oli tiedossa jo ennen simulointiajoa, koska robotti 1 asetettiin palvelemaan nakkitehtaan linjoja. Tämän takia myös kyseisen robotin pinonta-aste on korkein. Robotti 1:n ja robotti 3:n laatikoidenkäsittelykyky on hyvin tasainen johtuen samantyyppisestä kuormasta. Robotti 3 suoriutuu kuitenkin nopeammin työkuormastaan, mutta tämä johtuu vain siitä, että aineistossa robotti 2:n laatikkomäärä on n.1000 laatikkoa enemmän.

Alun perin ajateltiin, että kolmannesta robotista olisi ollut enemmän hyötyä nakkitehtaan laatikkokuorman purkamisessa. Simulointiajot osoittivat kuitenkin toisin. Ajojen perusteella voidaan todeta, että pelkkä kolmannen robotin lisääminen ei riitä poistamaan nakkitehtaaseen kohdistunutta ruuhkaongelmaa. Myöskään kapasiteetin kasvu ei ollut niin suuri kuin alun perin kuviteltiin.

6.5. Kehitystoimenpiteiden yhteisvaikutus

Neljännessä simulointiajossa tutkittiin kolmannen robotin ja pinontalaitteiden yhteisvaikutuksen tuomaa lisäystä kapasiteettiin. Järjestelmää kuormitettiin samalla aineistolla kuin kolmannen robotin tilanteessa. Kuvaajassa 6.7 on esitetty simulointiajon tulokset.



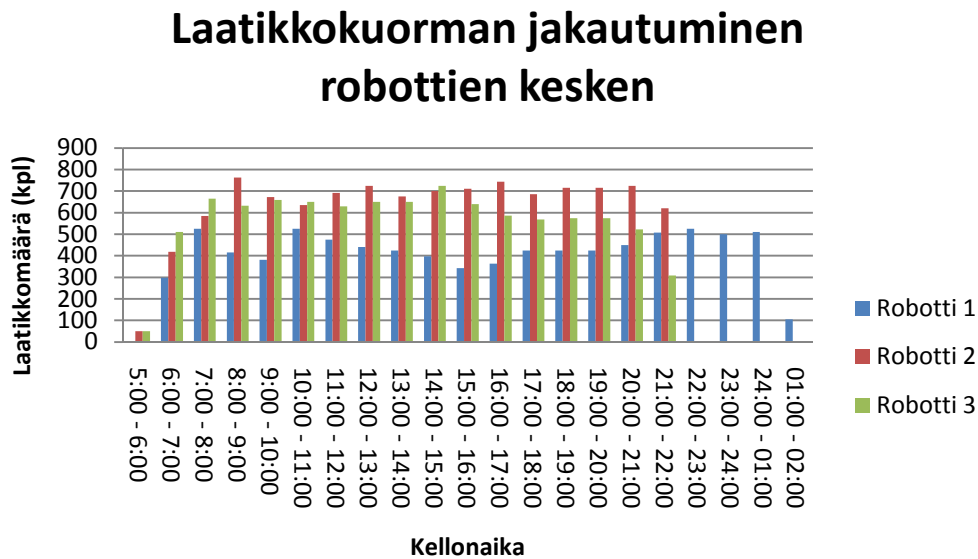
Kuva 6.7. Kehitystoimenpiteiden yhteisvaikutus kapasiteettiin.

Ajojen perusteella kapasiteetiksi mitattiin 1822 laatikkoa tunnissa. Huippuarvo on saavutettu aikavälillä klo 14.00 – 15.00. Tuntitasolla laatikoita pystyttiin käsittelemään 441 laatikkoa enemmän, kun verrataan alkuperäiseen tilanteeseen. Määritetään vielä muutos verrattuna alkuperäiseen:

$$Muutos = \frac{1822 \frac{ltk}{h} - 1381 \frac{ltk}{h}}{1381 \frac{ltk}{h}} = 0.319 \quad (4)$$

Kehitystoimenpiteiden yhteisvaikutuksella laatikoita pystyttiin käsittelemään 32 % enemmän kuin alkuperäisessä tilanteessa. Kasvu ei ollut enää merkittävää, jos tulosta verrataan toiseen simulointiajoon. Koska neljännessäkin simulointiajossa siirtovaunut muodostuivat järjestelmän pullonkaulaksi, kapasiteetti ei enää juurikaan noussut. Erot neljännen ja toisen simulointiajon tuloksissa johtuvat lavojen valmistumisajoituksesta. Koska kolmannen robotin lisääminen vaikuttaa lavojen valmistumisajankohtaan, on mahdollista, että huipputunti on saavutettu sopivien yhteensattumien summana. Näin ollen kapasiteetti on hieman suurempi kuin toisessa simulointiajossa. Tämänkin ajon aikana valmiita lavoja jouduttiin ottamaan korjausaseman kautta ulos 59 kpl, jotta täys-lavakuljetin ei ruuhkautuisi ja pysäyttäisi lavausta.

Kuvaajassa 6.8 on esitetty kuormanjakautuminen robottien kesken.



Kuva 6.8. Laatikkokuorman jakautuminen kolmen robotin kesken.

Kuvaajasta voidaan todeta, että robotti 1 käsittelee laatikoita muita robotteja vähemmän tuntitasolla. Lisäksi se on jäänyt purkamaan nakkitehtaan aiheuttamaa ruuhkaa, kun muut robotit ovat jo suoriutuneet urakastaan. Tämä oli odotettavissa, koska robotti 1 käyttää laatikoiden pinontaan 12 % ajastaan. Robotille 2 ja 3 pinontaikaa ei kertynyt ollenkaan, koska ne käsittelevät pelkästään viiden laatikon pinoja. Mainittakoon vielä, että robotit 2 ja 3 pystyivät suoriutumaan laatikkokuormasta sitä mukaa, kun niitä tuotantolinjoilta valmistui.

6.6. Tulosten yhteenveto

Pinontalaitteiden ja kolmannen robotin yhteisvaikutus järjestelmän kapasiteettiin oli tulosten perusteella suurin. Kuitenkin pelkkien pinontalaitteiden vaikutus oli lähes samaa luokkaa. Pelkästään kolmannen robotin lisääminen ei tuottanut kovinkaan vakuuttavia tuloksia kapasiteetin nousulle. Taulukkoon 6.1 on koottu tulokset kaikista edellä ajetuista simulointiajoista.

Taulukko 6.1. Yhteenveto tuloksista.

| Simulointiajo | Kapasiteetti (ltk) | Muutos (%) | Pinonta-aika | | |
|---------------|--------------------|------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | Robotti 1 (%) | Robotti 2 (%) | Robotti 3 (%) |
| Ajo 1 | 1381 | - | 38 | 51 | - |
| Ajo 2 | 1771 | 28,2 | 8 | 0 | - |
| Ajo 3 | 1475 | 6,8 | 38 | 28 | 32 |
| Ajo 4 | 1822 | 31,9 | 12 | 0 | 0 |

Tulosten valossa pystytään toteamaan, että robottien pinonta-ajalla on suuri merkitys järjestelmän kapasiteettiin. Kun robottien pinonta-aikaa pystytään pienentämään, robotit

pystyvät käsittelemään laatikoita huomattavasti enemmän. Tähän olisi syytä kiinnittää huomiota, kun pohditaan järjestelmän kehittämistä. Toisaalta simuloituilla kehitystoinenpiteillä ei pystytä kapasiteettia kasvattamaan rajattomasti, vaan järjestelmän muut laitteet muodostuvat rajoittaviksi tekijöiksi.

7. KEHITYSTOIMENPITEET

Tulosten analysoinnin jälkeen on luonnollista siirtyä pohtimaan kehitystoimenpiteiden toteutusta. Tässä kappaleessa tarkastellaan kehitystoimenpiteiden tuomia etuja ja niiden mahdollista implementointia yrityksen kannalta. Alustavan tarjouskyselyn perusteella kolmannen robotin ja kuuden pinontalaitteen lisäämisen investoinnit ovat kustannuksiltaan samaa suuruusluokkaa ($\pm 5\%$). Näin ollen kehitystoimenpiteet ovat vertailukelpoisia keskenään.

7.1. Kuuden pinontalaitteen lisääminen järjestelmään

Kuuden pinontalaitteen asennus ja käyttöönotto nostaisi lavausjärjestelmän kapasiteettia 28 %. Tämän kehitystoimenpiteen implementointi järjestelmään turvaisi HK Ruokatalon tämänhetkisten tuotantokilojen lavauksen ensimmäisessä kerroksessa. Tämänhetkinen järjestelmä pystyy lavaamaan sesonkiaikojen tuotantopiikeistä johtuvan laatikkokuorman nousun juuri ja juuri. Kehitystoimenpiteen jälkeen kapasiteettia löytyisi myös sesonkiaikoja varten ja lavaus ei olisi niin epävarmaa. Simulointitulosten ja työn aikana tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan todeta, että pinontalaitteiden liittäminen järjestelmään olisi perusteltua. Mikäli järjestelmään kuitenkin halutaan liittää uusia tuotantolinjoja, tämä toimenpide ei todennäköisesti riittäisi niiden käsittelyyn, vaan täytyisi järjestelmän muitakin laitteita kehittää.

Pinontalaitteiden asentaminen järjestelmään on melko yksinkertaista. Laitteiden asennus kannattaisi tehdä yksi kerrallaan, jolloin vain yksi pakkauslinja olisi poissa käytöstä asennuksen ajan. Tämä ei kuitenkaan olisi ongelma, koska kyseisen pakkauslinjan tuotteita voidaan pakata muilla linjoilla. Parhaimmassa tapauksessa asennus ei näkyisi tuotannossa ollenkaan, jos asennus voidaan toteuttaa viikonlopun aikana, jolloin tuotanto ei ole käynnissä. Lisäksi asennusajankohta kannattaa valita siten, että se on sesonkien ja kampanjoiden ulkopuolella.

Pinontalaitteet ovat rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan melko yksinkertaisia. Tämän takia niiden aiheuttamat häiriöt ovat epätodennäköisiä. Häiriön sattuessa pinontalaitteeseen tuotanto pysähtyy vain yhdeltä linjalta, eikä se pysäytä koko lavausjärjestelmää.

7.2. Kolmannen robotin lisääminen järjestelmään

Tulosten perusteella kolmannen robotin lisääminen järjestelmään kasvattaisi kapasiteettia vain 6,8 %. Tulos on huomattavasti heikompi kuin pinontalaitteiden tuoma kapasiteetin nousu. Kun vielä huomioidaan, että kolmannen robotin ja pinontalaitteiden in-

vestointikustannukset ovat samaa suuruusluokkaa, voidaan todeta, että kolmannen robotin investointi ei ole perusteltua eikä kannattavaa.

Kolmannen robotin asentaminen lineaariradalle ei ole yksioikoista. Todennäköistä on, että asennusta ei pystytä suorittamaan viikonlopun aikana, vaan asennus aiheuttaa tuotantoseisokkeja. Lisäksi kolmen robotin asentaminen samalle lineaariradalle on hyvin riskialtista, koska mahdolliset törmäykset robottien välillä voivat pahimmillaan aiheuttaa pitkiäkin tuotantokatkoksia. Lisäksi robotin häiriö- tai vikatilanteessa koko laavaus jouduttaisiin pysäyttämään. Myös käyttöönotto kestäisi todennäköisesti pitkään, koska robotit harvoin toimivat suoraan asennuksen jälkeen ilman ongelmia. Sen sijaan pinontalaitteiden käyttöönotto on huomattavasti helpompaa, koska ne ovat tekniikaltaan yksinkertaisempia ja niiden ohjelmointi on helpompaa.

7.3. Kehitystoimenpiteiden yhteisvaikutus

Kummankin kehitystoimenpiteen samanaikainen implementointi järjestelmään kasvattaisi kapasiteettia käytännössä saman verran kuin pelkkien pinontalaitteiden lisääminen. Lisäksi investoinnin hinta olisi kaksinkertainen. Näiden syiden takia ei ole perusteltua implementoida tätä ratkaisuehdotusta järjestelmään. Jos kuitenkin järjestelmän siirtovaunuja ja lavakuljettimia lähdetään kehittämään, voi tämä ratkaisuehdotus nousta uuteen arvoonsa. Kun järjestelmän muita laitteita kehitetään, on mahdollista, että robotit muodostuvat uudestaan järjestelmän pullonkaulaksi ja maksimikapasiteettiin ei päästä pelkkien pinontalaitteiden uusimisen avulla.

7.4. Muut kehitystoimenpiteet

Jotta edellä mainituista kehitystoimenpiteistä saataisiin mahdollisimman paljon hyötyä irti, tulisi myös muita järjestelmään liittyviä laitteita kehittää tai uusia kokonaan. Onhan selvää, että järjestelmän pullonkaula siirtyy aina johonkin kohtaan, kun jotain osaa järjestelmästä parannetaan. Järjestelmää tutkiessa syntyi uusia kehitysideoita kapasiteetin kasvattamiseksi ja niistä oleellimmat esitetään seuraavaksi. Näitä kehitystoimenpiteitä ei kuitenkaan tässä työssä simuloitu vaan niiden tarkempi tutkiminen jätetään yrityksen harkintaan. Kuitenkin työssä syntynyt simulointimalli on oiva työkalu arvioitaessa investointien kannattavuutta, joten uudet kehitysideat kannattaa simuloida ennen niiden hankkimista.

7.4.1. Siirtovaunujen ohjauksen uusiminen

Tällä hetkellä järjestelmässä on kaksi siirtovaunua, jotka käsittelevät tyhjiä ja täysiä lavoja. Siirtovaunujen ohjaus on toteutettu niin, että siirtovaunut pystyvät suorittamaan tehtäviä yksi kerrallaan. Toisen vaunun siirtäessä lavaa kohti lähettämöön ja vastaanottaessa uutta lavaa vaunuun, toinen vaunu ei voi liikkua ollenkaan. Kun tehtävää suoritettava vaunu lähtee siirtymään kohti kotiasemaa, joutuu toinen vaunuista edelleen olemaan paikallaan. Kun asiaa mietitään tarkemmin, yhdellä siirtovaunulla pystyisi suorit-

tamaan siirtotehtävät yhtä tehokkaasti kuin kahdella vaunullakin lukuun ottamatta muutamia poikkeuksia. Joissakin tilanteissa yhdellä vaunulla pystyttäisiin jopa tekemään siirtotehtävät nopeammin.

Vaunujen ohjaus olisi mahdollista toteuttaa myös niin, että vaunut voisivat liikkua samanaikaisesti muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Kummakin siirtovaunun tulisi pystyä hakemaan valmiita lavoja lavausasemilta huolimatta siitä, että toinen vaunuista olisi liikkeessä. Ainoastaan työalueiden risteävässä kohdassa tulisi suorittaa tarkastelu, jossa tutkittaisiin onko jompikumpi vaunuista risteyskohdassa. Mikäli jompikumpi vaunuista olisi luovuttamassa tai hakemassa valmista lavaa risteävässä kohdassa, tulisi toiselle vaunulle indikoida tieto tästä esimerkiksi valokennojen avulla. Tällöin toinen vaunu voisi suorittaa tehtävänsä risteävässä kohdassa ja toinen vaunu voisi esimerkiksi odottaa kotiasemassaan valmis lava kyydissään ja suorittaa tehtävänsä, kun toinen vaunu on poistunut risteyskohdasta. Tällä tavoin lavojen käsittelyä voisi nopeuttaa huomattavasti.

Kuvassa 7.1 on esitetty siirtovaunut ja lavausasemat. Kuvasta huomataan, että siirtovaunut pystyisivät työskentelemään samanaikaisesti. Esimerkiksi vasemmanpuoleinen siirtovaunu voisi noutaa valmiin lavan ja luovuttaa tyhjän lavan kaikille muille paikoille paitsi lavausasemalle 20, vaikka oikeanpuoleinen siirtovaunu olisi luovuttamassa lavaa lähettämöön.



Kuva 7.1. Siirtovaunut ja lavausasemat.

7.4.2. Nakkitehtaan alakerran lavaus

Kuten työssäkin huomattiin, toinen roboteista oli ongelmassa nakkitehtaan kanssa. Tämä johtuu siitä, että osa laatikoista joudutaan pinoamaan erillisille lattiapinontapaikoille. Tämän takia tulisi miettiä alakerran nakkitehtaan lavaamista suoraan alakerrassa. Tämä on teoriassa mahdollista, koska alakerrassa on oma lavausjärjestelmänsä. Kuitenkin ensin on selvitettävä, löytyykö alakerran lavausjärjestelmästä kapasiteettia myös alakerran nakkitehtaan linjoille.

Tämän vaihtoehdon toteuttaminen vaatisi jonkin verran rakennustöitä. Alakerran nakkitehtaan seinään pitäisi tehdä kuljettimen kokoinen reikä, josta laatikot mahtuisivat liikkumaan kohti alakerran lavaamoja. Lisäksi pitäisi investoida kuljetin laatikkovirtaa varten ja tehdä ohjelmointitöitä, jotta kuljetin saataisiin liitettyä lavausjärjestelmään.

Täytyy kuitenkin huomata, että kyseessä oleva ratkaisuehdotus ei parantaisi nykyistä järjestelmää, vaan vähentäisi sen kuormitusta.

7.4.3. Nakkilinjan välikuljetin

Ennen työn aloittamista HK Ruokatalon tekninen ryhmä oli miettinyt välikuljettimen lisäämistä nakkitehtaan laatikkokuljettimien väliin. Fyysisesti välikuljetin tulisi sijaitsemaan kuljettimen 11 ja 12 välissä. Tämän idean ajatus perustuu siihen, että alakerran nakkilinjat eivät ole tuotantoajossa kuin muutamana päivänä viikossa. Kun alakerran tuotantolinjat eivät olisi ajossa, voitaisiin nakkitehtaan ensimmäisen kerroksen yhden tuotantolinjan synnyttämiä laatikoita pinota kuljettimen 11 pinontalaitteella. Tämä kehitystoimenpide vähentäisi robotin pinonta-aikaa.

Myös aiemmin esitelty nakkitehtaan alakerran lavausvaihtoehto tukisi tätä kehitystoimenpidettä. Jos alakerran nakkitehtaan lavaus irrotettaisiin ensimmäisen kerroksen lavausjärjestelmästä, uusi välikuljetin voisi palvella ensimmäisen kerroksen nakkitehtaan tuotantolinjoja koko ajan, ja tällöin robotti joutuisi pinoamaan vain yhden tuotantolinjan laatikoita.

7.4.4. Pinontalaitteiden siirto kauemmaksi järjestelmästä

Pinontalaitteiden siirto kauemmaksi robottilavauksesta antaisi mahdollisuuden ruuhkatilanteissa varastoida viiden laatikon pinoja kuljettimelle. Tämä ratkaisuehdotus olisi mielenkiintoinen, sillä ehdotetun toimenpiteen jälkeen robottien häiriötilanteessa voitaisiin tuotantoa jatkaa pitempään katkotta. Normaalisti pidempi häiriö lavausroboteilla pysäyttää nopeiden linjojen tuotannon, koska laatikkokuljettimet ruuhkautuvat, eikä tuotantoa voida enää jatkaa normaalisti. Kun laatikkopinoja pystyttäisiin varastoimaan kuljettimelle, antaisi se lisää aikaa häiriön purkamiselle. Todellisuudessa lavausrobottien häiriöt ovat lyhyitä, mutta kuitenkin joskus riittävän pitkiä aiheuttaakseen lyhyitä tuotantoseisokkeja.

Tämän ehdotuksen ongelmana on se, että se ei ole helposti toteutettavissa. Kuten yleensä tuotantolaitoksissa tilankäyttö on optimoitu, niin myös tässäkin tapauksessa. Tällä tarkoitan sitä, että pinontalaitteiden siirto kauemmaksi on haastavaa, koska tilaa ei juurikaan ole. Käytännössä jokaisen pinontalaitteen takana on hoitotaso, joka estää laitteen siirtämisen. Kuitenkin joillekin kuljettimille muutos olisi tehtävissä, mutta joka tapauksessa se vaatii isoja rakenteellisia muutoksia.

7.4.5. Lavakuljettimien uusiminen

Lavausjärjestelmän ketjukuljettimia ei uusittu investoinnin hankintavaiheessa, vaan päädyttiin käyttämään jo olemassa olevia Pesmelin ketjukuljettimia, jotka on hankittu 90-luvun alkupuolella. Investoinnin yhteydessä kuitenkin lisättiin n.4 metriä rullakuljetinta, jonka avulla lavat siirretään siirtovaunusta ketjukuljettimelle. Risteyskohdassa ketjukuljetinta nostetaan, jolloin lava irtoaa rullista ja lavaa voidaan siirtää sivusuunnassa. Tällöin kuormalavan jalakset ovat poikittain siirtosuuntaan nähden.

Tämänhetkisen ketjukuljettimen ongelmana on se, että yhdellä ketjukuljetinkäytöllä voi olla vain yksi lava kerrallaan. Tämä tarkoittaa sitä, että tällä hetkellä valmiita lavoja voidaan varastoida vain neljä ennen vanteutuskonetta, vaikka tilaa olisi huomattavasti useammalle lavalle. Luonnollinen ratkaisu tähän olisi käyttää akkumuloivia rullakuljettimia ketjukuljettimien sijaan. Näin ei voida kuitenkaan tehdä, koska kuormalavan jalaketukset ovat poikittain siirtosuunnassa. Käytäntö on osoittanut, että rullakuljettimen käyttö tällaisessa tilanteessa aiheuttaa ongelmia. Yksi ratkaisu ongelmaan olisi uusien vanhojen kuljettimien tilalle ketjukuljetinkäytöillä, jolloin lavoja voitaisiin varastoida kolminkertainen määrä verrattuna tämänhetkiseen tilanteeseen. Ratkaisuehdotus on hyvin kallis investointi, koska erilliset kuljetinkäytöt ovat kalliita.

Lavojen varastointi kuljettimelle olisi tärkeää, koska syntyvä lavamateriaalivirta on epätasaista. Pahimmassa tapauksessa lavoja joudutaan ottamaan korjausasemalta ulos, jotta lavaus ei pysähtyisi. Jos lavoja pystytettäisiin varastoimaan, voitaisiin ruuhkatilanteilta välttyä ja kertyneet lavat voitaisiin purkaa kaikessa rauhassa. Tämä tietysti perustuu siihen, että ruuhkatilanne ei ole jatkuvasti päällä. Lisäksi voidaan vielä mainita, että vanhat kuljettimet tulisi uusien jo pelkästään niiden pitkän iän takia.

8. YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin elintarviketehtaan lavausjärjestelmän kehittämistä mallinnuksen ja simuloinnin avulla. Pääpaino kehittämisessä kohdistettiin järjestelmän kapasiteetin parantamiseen. Tavoitteena oli mallintaa nykyinen lavausjärjestelmä riittävällä tarkkuudella, jotta tuleviin simulointituloksiin pystyttäisiin luottamaan ja niitä voitaisiin käyttää päätöksenteon apuna. Projekti aloitettiin keräämällä lähtötietoja ja tutustumalla järjestelmän laitteisiin. Hyvin nopeasti tuli selväksi, että järjestelmä on hyvin monimutkainen ja sen mallintaminen tulisi olemaan haastavaa.

Järjestelmän kapasiteetin kehittämistä lähdettiin tutkimaan simuloinnin avulla. Mallintamalla nykyinen järjestelmä huolellisesti ja simuloimalla erilaisia kehitystoimenpiteitä simulointimallista syntyi hyvä päätöksenteon apuväline. Kun mallin suunnittelu ja mallintaminen oli tehty tarkasti ja huolellisesti, simulointituloksiin pystyttiin luottamaan.

Työn alussa käsiteltiin robotiikkaa, koska järjestelmän lavaus oli toteutettu roboteilla. Robotiikan käsittelyn avulla pystyttiin hankkimaan tarvittavat pohjatiedot lavausrobottien sielunelämän ymmärtämiseksi. Lisäksi työn teoriaosuudessa käsiteltiin erilaisia simulointimenetelmiä ja -ympäristöjä sekä simulointiprojektin toteutusta. Tätä kautta hankittiin riittävä ymmärryspohja simulointiin, ja simulointia pystyttiin käyttämään työssä työkaluna.

Projektin onnistumisen kannalta oli erityisen tärkeää, että simuloitava järjestelmä tunnettiin tarkasti. Järjestelmään tutustuttiin haastattelemalla yrityksen henkilökuntaa ja tutkimalla lavausjärjestelmän teknisiä dokumentteja. Parhaiten kuitenkin järjestelmä tuli tutuksi, kun sen toimintaa seurattiin paikan päällä pitkiä aikajaksoja. Lisäksi simuloinnin yhteydessä syntyi paljon kysymyksiä, joiden selvittämiseksi otettiin yhteys järjestelmän toimittajaan. Vasta kun järjestelmä tunnettiin riittävän hyvin, saatiin mallista riittävän tarkka.

Simulointiajoja varten rakennettiin simulointiaineisto, jolla mallinnettua järjestelmää kuormitettiin. Aineistosta tehtiin tarkoituksella hyvin raskas, jotta suurin mahdollinen kapasiteetti saatiin selville jokaisessa simulointiajossa. Simulointitulokset osoittivat, että kolmannen robotin lisääminen järjestelmään ei ole kannattavaa, koska sen tuoma lisäkapasiteetti oli vähäinen ja investoinnin hinta kallis saavutettuihin etuihin verrattuna. Suurin kapasiteetin nousu saavutettiin kun järjestelmään lisättiin kuusi pinontalaitetta ja kolmas robotti. Kuitenkin pelkästään kuudella pinontalaitteella päästiin melkein samaan kapasiteettiin, joten sen toteuttaminen olisi tulosten varjolla järkevintä. Lisäksi tämän investoinnin hinta on puolet pienempi, kuin jos järjestelmään lisättäisiin kuusi pinontalaitetta sekä kolmas robotti. Simulointi osoitti myös, että mikäli kuusi pinontalaitetta

järjestelmään lisätään, muodostuvat seuraavat pullonkaulat siirtovaunuihin ja vanteutus-koneeseen.

Diplomityön aikana syntyi myös uusia kehitysideoita, joita tässä työssä ei kuitenkaan käsitelty perusteellisesti. Uusien pullonkaulojen tutkiminen kannattaisi aloittaa, mikäli aiemmin ehdotettu kehitystoimenpide implementoidaan. Etenkin siirtovaunujen ohjausta kannattaisi miettiä uudestaan, koska tällä hetkellä niiden toiminta ei ole optimoitua. Myös lavakuljettimien uusiminen voisi olla ajankohtaista, jotta valmiita lavoja pystyttäisiin puskuroimaan kuljettimille. Koska nakkitehtaan ruuhkaongelmaa ei pystytty täysin ratkaisemaan tässä työssä, tulisi erilaisia ratkaisuja miettiä nakkitehtaan lavauksen kehittämiseksi tai hajauttamiseksi.

LÄHDELUETTELO

Aalto, H., IGRIP UltraArc [verkkodokumentti]. Delfoi. 2005 [Viitattu 29.1.2011]. Saatavissa: http://www.delfoi.com/web/solutions/production/robotiikka/fi_FI/off-line/_files/73872456328021977/default/UltraArc_lyhyt%20esitys3.pdf.

Banks, Jerry. 2005. Discrete-Event System Simulation. 4th ed. Upper Saddle River, NJ, Pearson Education, Inc. 608 p.

Direct Industry [WWW]. [Viitattu 18.1.2011]. Saatavissa: <http://www.directindustry.com/prod/abb-robotics/articulated-robots-30265-169106.html>.

Direct Industry [WWW]. [Viitattu 18.1.2011]. Saatavissa: <http://www.directindustry.com/prod/kuka-roboter/scara-robots-17587-241150.html>.

Eurofound. Trends and drivers of change in the food and beverage industry in Europe: Mapping report [Verkkodokumentti]. 2006 [Viitattu 17.5.2011]. Saatavissa: http://www.pedz.uni-mannheim.de/daten/edz-ma/esl/06/ef0637_en.pdf.

Hartman, Hannu. 1999. 3D- simulointi paperitehtaan lähettämön kehittämisessä. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto. 82 s.

Heikkinen, A., Laakso, J. Elintarviketeollisuuden robotisoinnit [WWW]. [Viitattu 17.1.2011], saatavissa: https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/kon15.4119/materiaali/seminaari_elintarviketeollisuus_word.docx.

Kilpeläinen, Pertti. 1997. 3D- mallinnus ja -simulointi ladontarobotin suunnittelussa. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto. 127 s.

Kuivanen, Risto. 1999. Robotiikka. Vantaa, Suomen Robotiikkayhdistys Ry. 188 s.

Maalauksen etäohjelmointi [verkkodokumentti]. Delfoi. 2005 [Viitattu 29.1.2011]. Saatavissa: http://www.delfoi.com/web/solutions/production/robotiikka/fi_FI/off-line/_files/73872462777419746/default/Maalauksen%20ohjelmointi.pdf.

Moreno Masey, R., Gray, J., Dodd, J., Caldwell, D. Guidelines for the design of low-cost robots for the food industry [Tutkimusartikkeli]. 2010 [Viitattu 17.5.2011]. Saatavissa: www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1891126&show=pdf.

Motoman [WWW]. [viitattu 29.1.2011]. Saatavissa: <http://www.motoman.fi/fi/nc/tuotteet/robottiohjain/product-view/bc/nx100-9/>.

Niku, Saeed Benjamin. 2001. Introduction to Robotics. Analysis, Systems, Applications. New Jersey, Prentice Hall. 349 p.

Pitkälä, Matti. Robotiikka. Lahti 2008, Lahden ammattikorkeakoulu. Luentomoniste. 76 s.

SFS-EN ISO 8373,1994 Teollisuusrobotit. Sanasto. Manipulating industrial robots. Vocabulary (ISO 8373:1994).

Skanveir [WWW]. [viitattu 30.1.2011]. Saatavissa: <http://www.skanveir.fi/mammoth>.

Transbox [WWW]. [viitattu 15.2.2011]. Saatavissa: <http://www.transbox.fi/>.

TTE-5020 Automaattinen kokoonpano: Tarraimet. 2009. Tampereen teknillinen yliopisto, Tuotantotekniikan laitos. Luentokalvo. 39 s.

Verzuh, E. 2008. The fast forward MBA in project management. 3rd ed. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc. 462 p.

LIITE 1: LAVAAMON KAPASITEETIN MITTAUS

Projektiryhmä

MUISTIO

Sari Luuppala HK

15.12.2009

Lasse Merilä HK

Kyösti Vartiainen Orfer

Matti Muikku Orfer

Mikko Uusitalo HK

Juha Ryödi Sataservice Oy

LAVAUKSEN KAPASITEETIN MITTAUS

Aika 15.12.2009 klo 8:00 – 9:00.

Paikka Vantaan ruokamakkarakapakaamo lavausrobotit 1 ja 2.

Kuvaus mittausolosuhteista

Mittauksessa pyrittiin kuormittamaan lavausrobotteja olemassa olevilla linjoilla maksimimäärällä laatikoita, siten että roboteille ei tule odotusaikoja. Laatikoiden syöttö aloitettiin hyvissä ajoin ennen varsinaista mittausajankohtaa, jotta välttyttiin laatikon siirtymääjän aiheuttamilta kapasiteetin hetkelliseltä nousulta. Mittaus kesti yhden tunnin. Lavauksen käsittelemä laatikkomäärä laskettiin Orferin tuotantoraportista joka laskee laatikot linjoittain tasatunnin välein. Mittauspiste sijaitsee jokaisen laatikon viivakoodin lukijalla.

Mittausmenettelyt on käsitelty edellisessä kokouksessa ja yhteisesti hyväksytty. Erimielisyyttä tuli kohdasta, jossa Ruponen (Orfer) oli ehdottanut mittauksen suoritettavan vain niiltä linjoilta, jolla olisi laatikon pinoajat. Tähän ei kuitenkaan ryhdytty koska lavauskokonaisuus on hankittu kuitenkin olemassa olevilla pinoajilla. Tarvittaessa tuon mittauksen voi kuitenkin toteuttaa uudelleen. Lisäksi pohdittiin robottien 1 ja 2 eriaikaista mittausta.

Laskennan vahvistukseksi laskettiin myös kaikki täydet lavat ja vajaiden laatikoiden laatikot.

Linjoilta 2, 7, ja 25 ei syötetty lainkaan laatikoita. Näiden poisjääminen paransi hiukan robottien kapasiteettiä, koska ne eivät sisältäneet laatikon pinoajia, jotka parantavat läpimenoa. Robotit saatiin täystyöllistettyä muilta linjoilta tulevilta laatikoilla koko mittauksen ajan.

Mittauksen analyysi

Lukijoilta laatikoita meni 1346 ltk/mittausväli (tuotantoraportti) ja täysiä lavoja laskemalla läpimenoksi saatiin 1325 ltk.

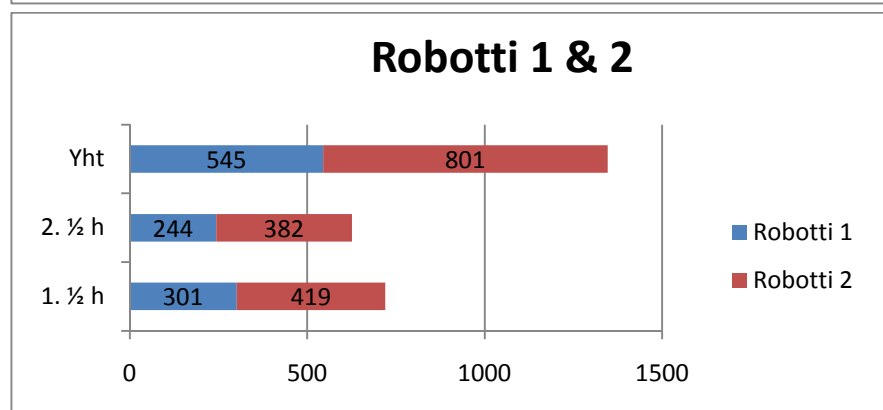
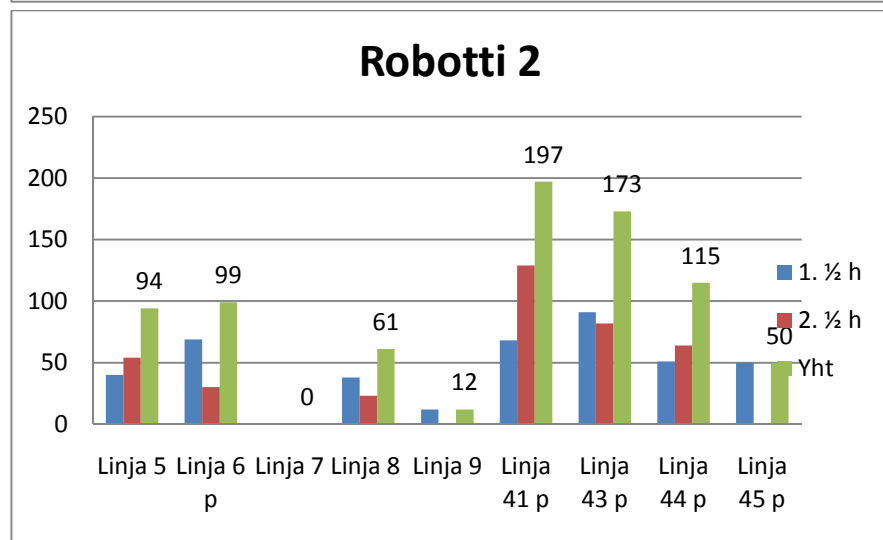
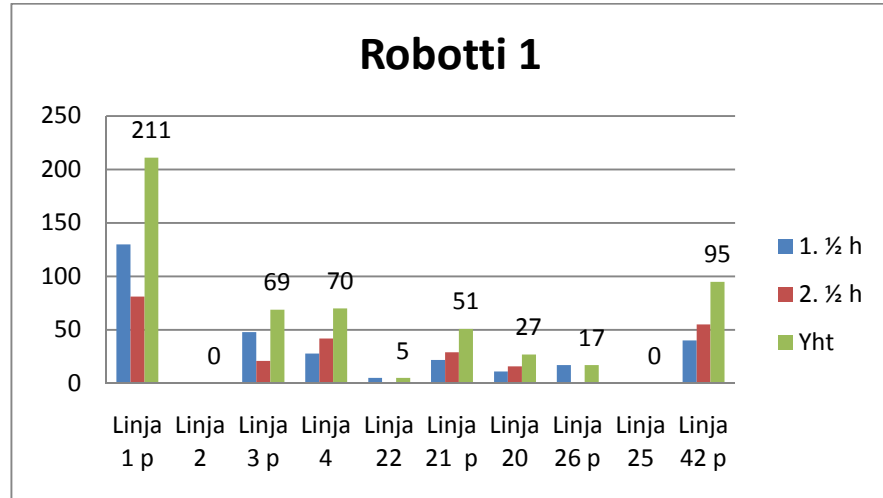
Käyntiaika oli 58,84 min, häiriöajaksi jäi 2,94 min.

Kokonaiskapasiteetiksi saadaan siten 1373 ltk/h.

Alla on taulukko mittaustuloksista linjoittain.

| | 1. ½ h | 2. ½ h | Yht. |
|-----------------|--------|--------|------|
| Linja 1 p | 130 | 81 | 211 |
| Linja 2 | 0 | 0 | 0 |
| Linja 3 p | 48 | 21 | 69 |
| Linja 4 | 28 | 42 | 70 |
| Linja 22 | 5 | 0 | 5 |
| Linja 21 p | 22 | 29 | 51 |
| Linja 20 | 11 | 16 | 27 |
| Linja 26 p | 17 | 0 | 17 |
| Linja 25 | 0 | 0 | 0 |
| Linja 42 p | 40 | 55 | 95 |
| Robotti 1 | 301 | 244 | 545 |
| Linja 5 | 40 | 54 | 94 |
| Linja 6 p | 69 | 30 | 99 |
| Linja 7 | 0 | 0 | 0 |
| Linja 8 | 38 | 23 | 61 |
| Linja 9 | 12 | 0 | 12 |
| Linja 41 p | 68 | 129 | 197 |
| Linja 43 p | 91 | 82 | 173 |
| Linja 44 p | 51 | 64 | 115 |
| Linja 45 p | 50 | 0 | 50 |
| Robotti 2 | 419 | 382 | 801 |
| Kaikki yhteensä | 720 | 626 | 1346 |

Alla graafiset kuvaajat mittaustuloksista linjoittain.



LIITE 2: SIMULOINTIMÄÄRITTELY

Ennen mallintamista projektia varten tehtiin simulointimäärittely. Tämä määrittely on tehty yhdessä Fimatic Oy:n kanssa.

Simuloinnin kohde

Simuloinnin kohteena on HK Ruokatalo Vantaan tuotannon jälkeinen lavausjärjestelmä. Projektissa tuotetaan lavausjärjestelmän nykyistä toimintaa kuvaava simulointimalli ja tarkastellaan sen avulla erilaisten kehitysehdotusten vaikutuksia lavausjärjestelmän kuormitukseen ja kapasiteettiin. Mallinnus ja simulointi tehdään AutoMod-simulointiohjelmalla.

Simuloinnissa selvitetään järjestelmän toimintaa ja kapasiteettia sisältäen seuraavat prosessit:

1. Laatikoiden käsittely
 - Makkarapakkaamon ja nakkitehtaan tuotantolinjoilta tulevien laatikoiden käsittely sekä hampurilais- ja jauhelihaosastojen tuotantolinjoilta tulevien laatikoiden ryhmittely jonoihin ja käsittely.
 - Laatikoiden tunnistus ja luenta.
 - Laatikoiden kääntäminen.
 - Pinontalaitteet.
2. Tyhjien ja valmiiden lavojen käsittely
 - Tyhjien lavojen siirto lavausasemiin.
 - Valmiiden lavojen siirto täyslavakuljettimille.
 - Lavan tunnistus ja etiketointi.
 - Pinon tasaus.
 - Vanteutus.
3. Robottilavaus
 - Tuotelaatikoiden pinonta joko suoraan robotin tarttujaan tai erilliselle pinon-tapaikalle.
 - Tuotepinojen siirto lavalle.

Tuloksena saadaan lavausjärjestelmän nykyistä toimintaa riittävällä tarkkuudella kuvaava malli, jota voidaan jatkossa käyttää lavausjärjestelmän toimintojen kehittämiseen.

Toimittajan esittely (Fimatic Oy / Simular Oy)

Fimatic Oy palvelee asiakkaan logistiikka- ja tuotanto-organisaatioiden tietojärjestelmätoimitusten suunnittelussa ja toteutuksessa. Yritys toimii myös järjestelmätoimittajien asiantuntijana vaativissa asiakasprojekteissa. Fimatic Oy:n tytäryhtiö Simular Oy on erikoistunut materiaalivirtojen ja prosessien simulointiin.

AutoMod-simulointiohjelmiston kuvaus

AutoMod -simulointiohjelmisto tarjoaa mahdollisuuden tehdä tarkkoja malleja analyyysien ja kehityshankkeiden avuksi sekä ohjausjärjestelmien testaamiseksi. Jokainen toiminto käyttää eri sääntöjä ja AutoMod joustaa erityistarpeiden mukaan. AutoMod -mallin koko on rajoittamaton niin monimuotoisuuden kuin yksityiskohtien ja toimintosääntöjenkin osalta. AutoMod-mallit ovat myös graafisesti tarkkoja. Kaikki tapahtuu oikeassa mittakaavassa ja oikea-aikaisesti. Graafinen animaatio helpottaa mallin arviointia ja auttaa visualisoimalla suunnitelman.

AutoMod tarjoaa käyttäjälle valmiita lomakkeita materiaalinkäsittelyjärjestelmien mallintamiseen. Lomakkeet on kehitetty teollisuuden automatisoinnin käytännön kokemusta hyödyntäen. Tämän johdosta merkittävä osa mallien grafiikasta ja materiaalinkäsittelyjärjestelmien muuttujista tuotetaan automaattisesti.

Valmiiseen malliin voidaan myös liittää käyttöliittymä, joka mahdollistaa simulointiajojen suorittamisen taulukkolaskentaohjelman avulla. Tällöin käyttäjä voi tutkia lähtöarvojen muutosten vaikutuksia mallinnetun järjestelmän ominaisuuksiin tarvitsematta perehtyä varsinaiseen simulointimallin tekemiseen.

Dokumentointi

Simulointityöstä syntyy dokumentti, jossa kuvataan mallinnettava järjestelmä ja tuotettava simulointimalli. Dokumentoinnin tulee olla sellainen, että lukija ymmärtää, miten simulointimalli on rakennettu ja miten hyvin malli vastaa todellista järjestelmää. Dokumentissa käsitellään seuraavat kappaleet:

- Kappale 1, Yleistä, sisältää projektin tavoitteet, määrittelyn ja rajauksen.
- Kappale 2, Järjestelmän yleiskuvaus, sisältää mallinnettavan järjestelmän kuvauksen.
- Kappale 3, Lähtötiedot, kuvaa projektissa käytetyt lähtötiedot.

- Kappale 4, Simulointimallin toimintakuvaus, sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen simulointimallin rakenteesta.
- Kappale 5, Simulointimallin tekeminen, kuvaa simulointimallin tekemisen eri vaiheet.
- Kappale 6, Koeajosuunnitelma, kuvaa simulointiprojektin aikana tehdyt koeajot.
- Kappale 7, Koeajot ja niiden tulokset, kuvaa simulointiprojektin aikana tehtyjen koeajojen tulokset.
- Kappale 8, Yhteenveto, sisältää yhteenvedon projektin tuloksista.
- Kappale 9, jatkokehitysehdotukset, sisältää projektissa löydetty jatkokehitysehdotukset.

Simuloinnin tavoite

Simulointiprojektissa rakennetaan lavausjärjestelmän nykyistä toimintatapaa kuvaava malli, mallinnetaan pinontalaitteet kaikille linjoille ja lisätään kolmas robotti. Kolmannen robotin mallintaminen voidaan tarvittaessa korvata jollakin toisella vastaavalla kehitystoimenpiteellä.

Lopputuloksena saadaan tutkittua lavausjärjestelmän toiminnallisuus ja mahdolliset ongelmakohdat ja saadaan malli prosessin kokonaisläpäisykyvyn laskentaan eri volyymitiedoilla.

Simuloinnin rajaus

Simulointimallin tarkastelujakso on yksi tuotantovuorokausi. Tuotelaatikko syntyy viivakoodin luentapisteeseen lähtötiedoissa olevan aikaleiman mukaisesti. Tyhjä lava syntyy tyhjälavakasetin jälkeiseen risteykseen aina, kun paikassa on tilaa. Simulointi päättyy tuotelavan siirtyessä lähettämöön vanteutuskoneelta.